

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Hodnocení spolehlivosti a návrh změn v údržbě vozidla

Evaluation of Reliability and Design Changes in Vehicle
Maintenance

Student:	Bc. František Rýznar
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. František Rýznar**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 10 Kolejová doprava
Téma: **Hodnocení spolehlivosti a návrh změn v údržbě vozidla**
Evaluation of Reliability and Design Changes in Vehicle Maintenance

Zásady pro vypracování:

Osnova:

1. Úvod
2. Funkce a provozní režim nástupních dveří vozidel metra
3. Postupy návrhu údržby s využitím RCM
4. Výpočetní metody používané k hodnocení spolehlivosti
5. Stanovení dosažené úrovně spolehlivosti vybraných konstrukčních skupin
6. Návrh změn v údržbě dveří vozidel metra s využitím RCM
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. FAMFULÍK, J. Údržba hnacích vozidel zaměřená na bezporuchovost. Disertační práce. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní. 2003. ISBN 80-248-259-7
2. Famfulík, J. Zkoušky spolehlivosti. Ostrava: VŠB TU Ostrava. 2010
3. Daněk A., Šíroky J. Teorie obnovy dopravních prostředků. Ostrava: VŠB TU Ostrava. 1999. ISBN 80-7078-568-3
4. Famfulík J, Míková J, Krzyžanek R. Teorie údržby. Ostrava: VŠB TU Ostrava. 2007. ISBN 978-80-248-1509-1
5. ČSN EN 50 (191), Český normalizační institut, 1993
6. Podklady výrobce vozidel – Siemens
7. Podklady výrobce dveří - IFE

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2012


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. František Rýznar

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Klubovní 245

789 69 Postřelmov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Rýznar, F. *Hodnocení spolehlivosti a návrh změn v údržbě vozidla: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 66 s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Diplomová práce se z hlavní části zaměřuje na návrh údržbového plánu metodikou RCM, dále posuzováním bezpečnosti a hodnocením provozní spolehlivosti. Všechny tyto postupy jsou aplikovány na nástupní dveře metra. V úvodní teoretické části jsou uvedeny základní pojmy údržby, popis RCM údržby, metoda analýzy rizika FMEA, metoda stromu poruch FTA a nakonec popis tzv. ověřovacích zkoušek spolehlivosti, konkrétně zkoušek pomocí zkušebních plánů. Při řešení jsou nejdříve nástupní dveře posouzeny z hlediska bezpečnosti, a to konkrétně pomocí analýzy FMEA. Dále jsou pomocí metodiky RCM navrhnuty změny v aktuálním údržbovém plánu dveří. Po navržnutí těchto změn (opatření) v údržbě je provedena opakovaná analýza FMEA a následné posouzení redukce rizika vzniku poruchy. Nakonec je zhodnocena provozní spolehlivost dveří pomocí tzv. zkušebních plánů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Rýznar, F. *Evaluation of Reliability and Design Changes in Vehicle Maintenance: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transporting, 2012, 66 p. Thesis head: Famfulík, J.

Master thesis is dealing with design of maintenance plan by RCM techniques. The other part of this thesis is safety assessment and evaluation of operational reliability. These procedures are applied to the subway entrance door. Theoretical section is dealing with basic maintenance concepts, description of RCM maintenance, risk analysis method FMEA, FTA fault tree method and description of the verification test of reliability, specifically test plans. Firstly the risk analysis is performed on the entrance doors. Then changes are designed in the maintenance plan, by RCM techniques. Then repeated analysis FMEA and risk reduction is performed. In the end operational reliability of entrance door is evaluated.

Obsah

	strana
Seznam použitých symbolů	8
0 Úvod	9
1 Údržba	10
1.1 Základní pojmy údržby	10
1.2 Vznik poruch	11
1.2.1 Klasifikace poruch podle charakteru jejich vzniku	11
1.3 RCM – údržba zaměřená na bezporuchovost	13
1.3.1 Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí	13
1.3.1.1 Varianty systému se zaručenou bezporuchovostí	14
1.3.2 Programy údržby RCM	15
1.3.3 Vytvoření programu údržby	16
2 Hodnocení funkční bezpečnosti	21
2.1 Analýza způsobů a důsledků poruch FMEA	21
2.1.1 Základní pojmy	21
2.1.2 Postup analýzy FMEA	22
2.1.3 RPN (Risk Priority Number)	23
2.1.3.1 Závažnost poruchy	23
2.1.3.2 Četnost poruchy	23
2.1.3.3 Odhalitelnost poruchy	24
2.1.4 Koncepce ALARP	25
2.1.4.1 Cíl přípustného rizika	25
2.1.5 Matice závažnosti (kritičnosti)	26
2.2 Analýza stromu poruch FTA	27
2.2.1 Konstrukce stromu poruch	27
3 Hodnocení provozní spolehlivosti	29
3.1 Zkušební plány	29
3.1.1 Stanovení akumulovaného pracovního času	30
3.1.2 Vyhodnocení zkušebních plánů	31
4 Dvoukřídlé předsvuné dveře RLS	32
4.1 Vstupní a výstupní signály	33
4.2 Funkce dveří	34
5 Strom poruch FTA – funkce dveří	36
5.1 Strom poruch – funkce nouzového odblokování	36

6 Analýza FMEA pro nástupní dveře – metodika řešení	37
6.1 Kritéria hodnocení významnosti rizik	38
6.2 Analýza FMEA – bodový nouzového odblokování dveří	40
6.3 Matice kritičnosti	41
7 Aplikace metody RCM na nástupní dveře metra	43
7.1 Současný stav údržby nástupních dveří	43
7.2 Dekompozice nástupních dveří	43
7.3 Určení klasifikace prvků	44
7.4 Určení prostředků údržby	46
7.5 Určení intervalů údržby	49
8 Opakovaná analýza FMEA	50
9 Hodnocení provozní spolehlivosti	53
9.1 Odhad počtu cyklů dveří za rok provozu	53
9.2 Použití zkušebních plánů	55
9.2.1 Hodnocení provozní spolehlivosti vybraných konstrukčních skupin	57
9.2.1.1 Mechanické komponenty nástupních dveří	57
9.2.1.2 Elektronické komponenty nástupních dveří	58
9.2.1.3 Nástupní dveře (celek)	59
10 Závěr	61
11 Seznam použité literatury	63
12 Seznam tabulek a obrázků	65
13 Seznam příloh	66

Seznam použitých symbolů

ČSN	Česká státní norma
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
EN	Evropská norma
ESI	Ekonomicky významné prvky
FMEA	Analýza způsobů a důsledků poruch (Failure Mode and Effect Analysis)
FSI	Funkčně významné prvky
FTA	Metoda stromu poruch (Fault Tree Analysis)
ISO	Mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem (International Organization for Standardization)
LED	Dioda emitující světlo (Light – Emitting Diode)
MSI	Provozně významné prvky
SSI	Bezpečnostně významné prvky
RCM	Údržba zaměřená na bezporuchovost (Reliability Centered Maintenance)
RPN	Hodnota významnosti rizika (Risk Priority Number)
ŘJ	Řídící jednotka

0 Úvod

Je asi zbytečné zde uvádět, jak velice je důležitá údržba v jednotlivých etapách životního cyklu vozidla. Problém údržby se u kolejových vozidel objevil už s první vyrobenou parní lokomotivou. V té době se jednalo v podstatě o údržbový systém po poruše, ovšem složitější konstrukce a především vysoké nároky na bezporuchovost a bezpečnost zařízení dohnaly systémy údržby až do podoby, jak je známe dnes.

Pravidelnou a efektivní údržbou můžeme tedy především dosáhnout velmi vysoké bezporuchovosti, tzn. vhodnými údržbovými zásahy udržet technický stav zařízení na stejné úrovni, pokud možno po celou dobu jeho života. Ve směru bezporuchovosti je nejúčinnější tzv. preventivní údržba. To je taková údržba, při které máme nejen přesně naplánovány jednotlivé údržbové zásahy, ale také přesně definovány i intervaly údržby. Její výhodou není jen zaručení vysoké bezporuchovosti, ale také víme, co a kdy budeme při údržbě potřebovat. Z čehož plyne, že v podstatě nedochází k žádným zbytečným zpožděním údržby, například vinou logistického zpoždění. Například pokud se budeme dále bavit o nástupních dveřích metra, tak zpoždění údržby dveří nám samozřejmě způsobí neschopnost provozuschopnosti celé soupravy, tudíž ji nemůžeme plně využít v provozu a vznikají tak určité ekonomické ztráty. Nástupní dveře metra představují typický příklad zařízení, u kterého by jiná než preventivní údržba způsobovala značné komplikace. Je to velmi důležitý prvek celé soupravy, u kterého musí být zaručena vysoká spolehlivost. V podstatě pokud dojde k poruše jen jedné dveří, nemůže být souprava dále provozována a je nutné poruchu odstranit. Porucha byť jen jedné dveří tedy způsobí neschopnost celé soupravy, ovšem takových dveří je ale na celé soupravě celkem čtyřicet!

Při návrhu takového údržbového plánu si musíme položit otázku, zda náklady na preventivní údržbu budou menší než náklady, které bychom vynaložili k opravě zařízení po vzniklé poruše. Ovšem zde je nutné mít na paměti, že systém údržby po poruše zřejmě nebude vhodný u prvků, které přímo souvisí s bezpečností provozu zařízení. To znamená takových komponentů, u kterých by mohlo při vzniku poruchy dojít jednak k ohrožení životního prostředí, ale také ohrožení zdraví nebo dokonce života osob. Tyto prvky by pro nás měly být naopak prioritní.

Hlavním cílem práce je navrhnutí změn v údržbě nástupních dveří metra pomocí metodiky RCM. Při návrhu nového údržbového plánu byl především brán zřetel na ony zmíněné bezpečnostně významné komponenty. Stěžejním bodem bylo zvýšit intenzitu údržbových zásahů u těchto komponentů a tím zvýšit bezpečnost celého zařízení.

1 Údržba

V této kapitole je zpracován seznam základních pojmů z oblasti údržby, členění a popis poruch, a na závěr popsán údržbový systém RCM.

Základní otázky údržby:

Co udržovat?

Jak udržovat?

Kdy udržovat?

1.1 Základní pojmy údržby [8]

Udržování Kombinace veškerých administrativních činností, technických činností a činností dohlížejších na udržení nebo navrácení daného objektu do stavu, kdy je schopen plnit požadovanou funkci.

Údržbový zásah Posloupnost základních údržbových zásahů prováděných za určitým účelem (diagnostika, mazání apod.)

Preventivní údržba Údržba, kterou provádíme v přesně určených intervalech za účelem snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování daného objektu.

Základní cyklus preventivní údržby Nejmenší opakující se interval nebo doba provozu objektu, ve které se provádějí určité posloupnosti údržbových zásahů, předepsaných preventivní údržbou.

Údržba po poruše Údržba, kterou provádíme až po vzniku poruchového stavu. Cílem je uvedení objektu do stavu, ve kterém je schopen plnit požadovanou funkci.

Údržbová soustava Soubor prostředků (dokumentace) pracovníci, které jsou nezbytné pro údržbu a zajištění provozuschopnosti objektů, které do této soustavy patří. Soustavou rozumíme materiálně-technické zabezpečení údržby.

Oprava Část údržby, při níž provádíme na objektu ruční práce, popřípadě práce za pomoci technických prostředků.

Neobnovovaný objekt Takový objekt, u kterého neprovádíme údržbu. První porucha je i poruchou poslední (např. žárovka).

1.2 Vznik poruch

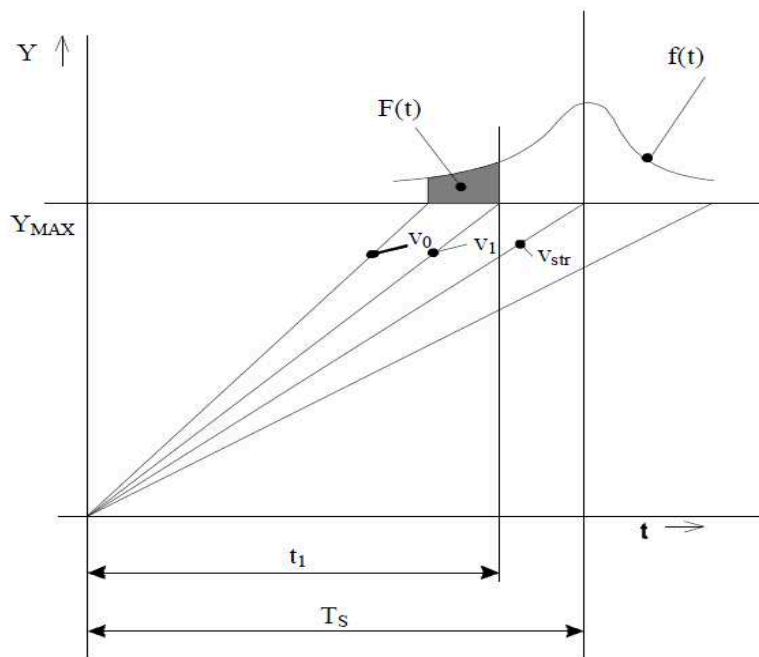
Základní pojmy: [5]

Porucha	Takový stav objektu, kdy není schopen plnit požadovanou funkci.
Chyba	Objekt plní svoji funkci, ale jinak než od něj očekáváme.
Náhodná porucha	Porucha objektu, kterou nejsme schopni předpovědět podle jiných souvislostí.
Závislá porucha	Porucha objektu, kterou přímo nebo nepřímo způsobí porucha jiného objektu.
Nezávislá porucha	Porucha objektu, kterou přímo nebo nepřímo nezpůsobí porucha jiného objektu.
Úplná porucha	Taková porucha objektu, kdy dochází k úplné ztrátě schopnosti objektu plnit požadované funkce.
Částečná porucha	Porucha, která způsobí neschopnost objektu plnit některé (ne všechny) požadované funkce.
Závada	Stav, který způsobí snížení způsobilosti objektu plnit požadovanou funkci.

1.2.1 Klasifikace poruch podle charakteru jejich vzniku

A. Postupné poruchy:

- základní vlastností tohoto typu poruch je závislost pravděpodobnosti vzniku na čase (tzn. čím déle objekt pracuje, tím pravděpodobnost poruchy roste – dochází k opotřebování) - postupné poruchy jsou tedy důsledkem degradačního procesu, tedy takového procesu, při kterém dochází ke zhoršování prvotních vlastností objektu,
- jsou spojeny např. s korozí, únavou materiálu apod.
- rozdělení pravděpodobnosti poruchy je závislé na rozdělení rychlosti opotřebení (viz obr. 1) – některé součásti se opotřebují pomaleji, jiné zase rychleji
- pro omezení míry degradace objektu, nebo omezení důsledku poruchy, je **účinné využití preventivní údržby**. [5]



Obr. 1 – Závislost pravděpodobnosti poruchy na rychlosti opotřebení [5]

$f(t)$...průběh hustoty pravděpodobnosti

$F(t)$...pravděpodobnost poruchy

v_0, v_1, v_{str} ...různé rychlosti opotřebení prvků

Y_{MAX} ...max. hladina opotřebení, kdy dojde k poruše

T_s ...střední doba do poruchy

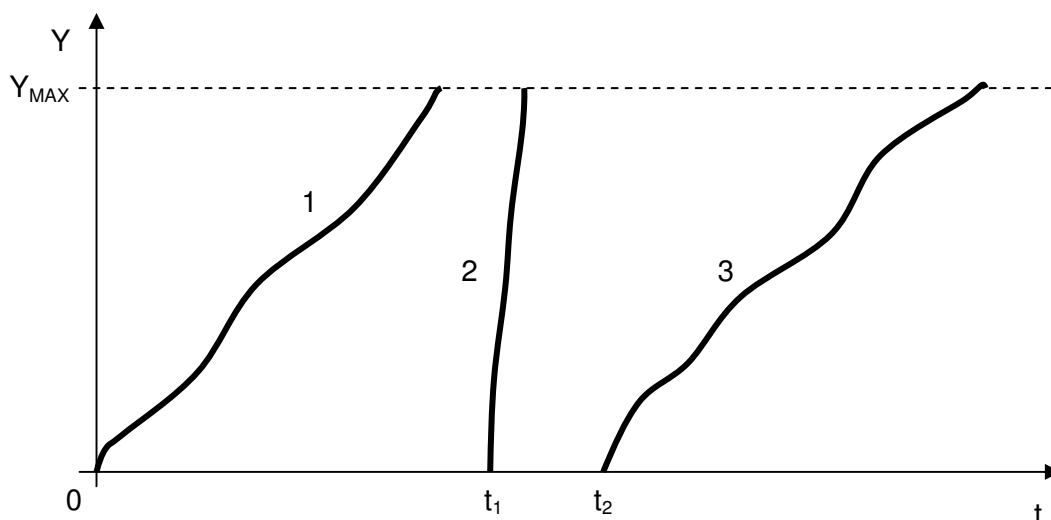
t_1 ...doba do poruchy při rychlosti opotřebení v_1

B. Náhlé poruchy:

- vznik těchto poruch je neočekávaný, bez jakýchkoliv předchozích příznaků,
- vznikají jako důsledek vnějšího působení (zatížení), které překročí konstrukční možnosti objektu (např. prasknutí pneumatiky po njetí na ostrý předmět => neočekávaná porucha),
- v tomto případě je **použití preventivní údržby neúčinné**:
 - pravděpodobnost vzniku poruchy se řídí náhodným rozdělením,
 - poruchy nesouvisí se spolehlivostí objektu. [5]

C. Kombinované poruchy:

- zahrnuje vlastnosti obou předcházejících typů poruch,
- vznikají jako poruchy náhlé (přetížení konstrukce), další průběh je totožný jako u poruch postupných,
- v tomto případě je **účinná preventivní údržba**,
- rychlost degradace odpovídá vzniku postupné poruchy. [5]



Obr. 2 – Průběh poruch (1 – postupné, 2 – náhlé, 3 – kombinované) [5]

1.3 RCM – údržba zaměřená na bezporuchovost

„Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM) je metoda pro zavedení programu preventivní údržby, který umožní účelně a účinně dosáhnout požadované úrovně bezpečnosti a pohotovosti zařízení a konstrukcí, a určena k tomu, aby vedla ke zlepšení celkové bezpečnosti, pohotovosti a hospodárnosti provozu.“ [8]

Jedná se v podstatě pružný (vyvíjející se) systém údržby. Vychází z **počátečního programu** údržby a na základě zkušeností z provozu je postupně upravován tak, aby byly plánovány a prováděny pouze takové údržbové zásahy (**provozní program**), které skutečně vedou k dosažení cílů údržby.

1.3.1 Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí

Jedná se o preventivní systém, který zaručuje předem stanovenou úroveň bezporuchovosti. V tomto systému údržby se údržba a obnova provádí v předem stanovených intervalech. Těmito intervaly může být například kilometrický proběh, čas provozu nebo také počet cyklů, které dané zařízení vykoná (například u dveří se může jednat o počet zavření a otevření). Aby mohl tento systém správně fungovat, je nutné vést si přesné záznamy o sledovaném výkonovém parametru.

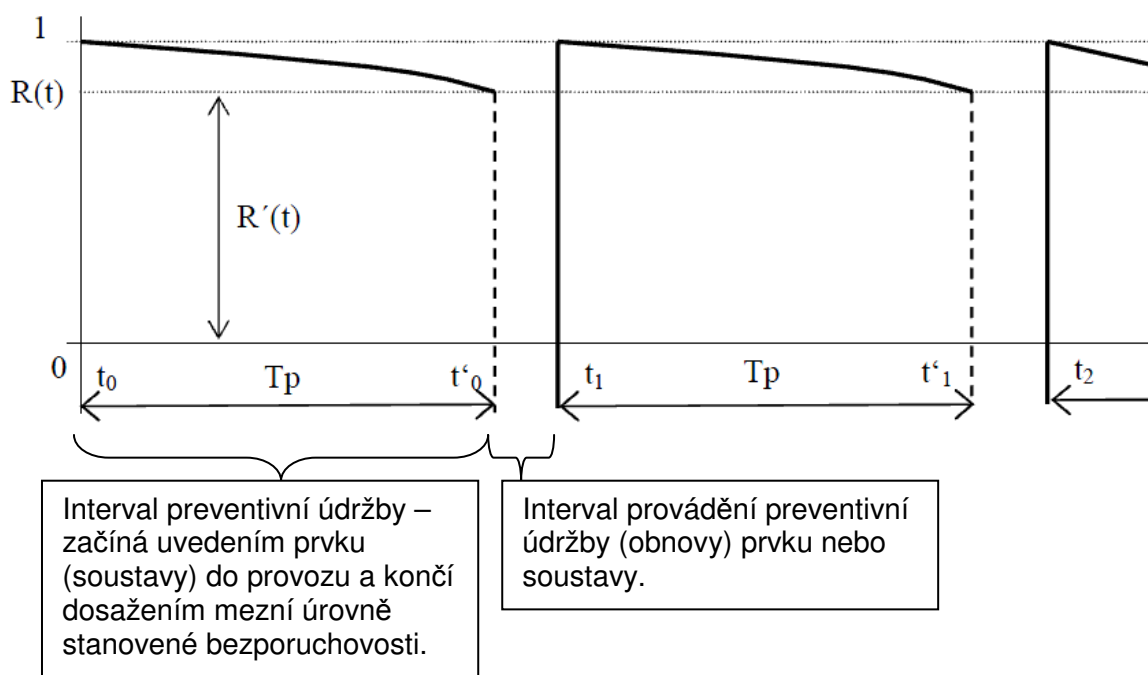
Po určité době bývají prvky nahrazeny novými, nebo je u nich provedena důkladná kontrola. [8]

NEVÝHODY - velmi nákladný,

- složité zavedení do provozu,
- musíme mít velmi dobré informace o spolehlivosti zařízení.

VÝHODY

- dopředu víme, co a kdy budeme potřebovat => snadné logistické zajištění údržby,
- výrazné omezení poruchových stavů zařízení.



Obr. 3 – Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí [8]

1.3.1.1 Varianty systému se zaručenou bezporuchovostí

A. s respektováním délky života prvků:

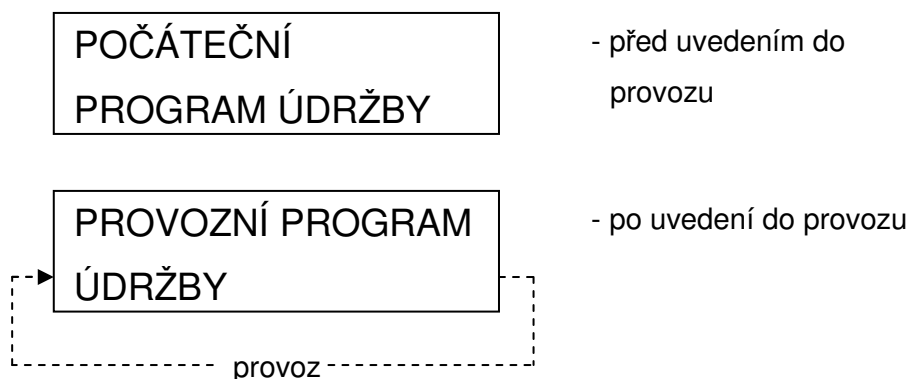
Při vzniku náhlé poruchy vyměníme daný prvek a po obnově tohoto prvku začne nový interval preventivní údržby.

B. bez respektování délky života prvků:

Při vzniku náhlé poruchy vyměníme daný prvek, ale v tomto případě nezačne běžet nový interval preventivní údržby. Tzn., že pokud je v rámci preventivní údržby naplánována obnova daného prvku, tento prvek je v údržbě znovu obnoven, i když byl

vlastně vyměněn po vzniku náhlé poruchy. V tomto systému tedy obnovujeme prvky dříve než je to nutné. [8]

1.3.2 Programy údržby RCM



Obr. 4 – Počáteční a provozní program údržby

A. Počáteční program údržby

Vytvořen před uvedení výrobku do provozu, na základě spolupráce mezi výrobcem a budoucím provozovatelem.

Vytváření počátečního programu údržby: [8]

- vstupy - kategorizace funkcí
 - provozní podmínky
 - popis zdrojů poruch
 - cílová bezporuchovost
- postup - dekompozice objektu na funkční celky
 - rozdělení funkčních celků podle kritičnosti
 - určení technologie a úkolů údržby
 - stanovení intervalů údržby

B. Provozní program údržby

Vychází z počátečního programu údržby a je koncipován na základě skutečných zkušeností z provozu. Jeho cílem je zlepšit již existující program údržby. Toto je nutné

zejména tehdy, když je stávající program údržby navržen pouze na základě doporučení a zkušeností výrobce.

Vytváření provozního programu údržby: [8]

- vstupy - data o skutečném provozu
 - data o skutečných poruchách
 - data o skutečné technologii údržby
- postup - stejné jako počáteční s přidáním - nových technologií
 - nových nástrojů a přístrojů v údržbě
 - nových materiálů

1.3.3 Vytvoření programu údržby

A. Dekompozice zařízení:

Dekompozice znamená rozdělení posuzovaného zařízení do konstrukčních skupin a podskupin, případně až do úrovně součástí. Úkolem dekompozice je identifikovat funkčně významné celky, pro které bude stanoven systém údržby. U ostatních celků použijeme systém údržby po poruše. [8]

Funkčně významné celky (FSI):

Celky **SSI** - porucha tohoto celku ovlivňuje bezpečnost lidí a ohrožuje životní prostředí (i skrytě),

- pozn. skrytá porucha - při svém vzniku se nijak neprojeví, až po vzniku druhé poruchy dojde k vzájemnému souběhu těchto poruch a následně k nebezpečné situaci

Celky **MSI** - porucha, která má nepříznivý dopad na provoz a údržbu,

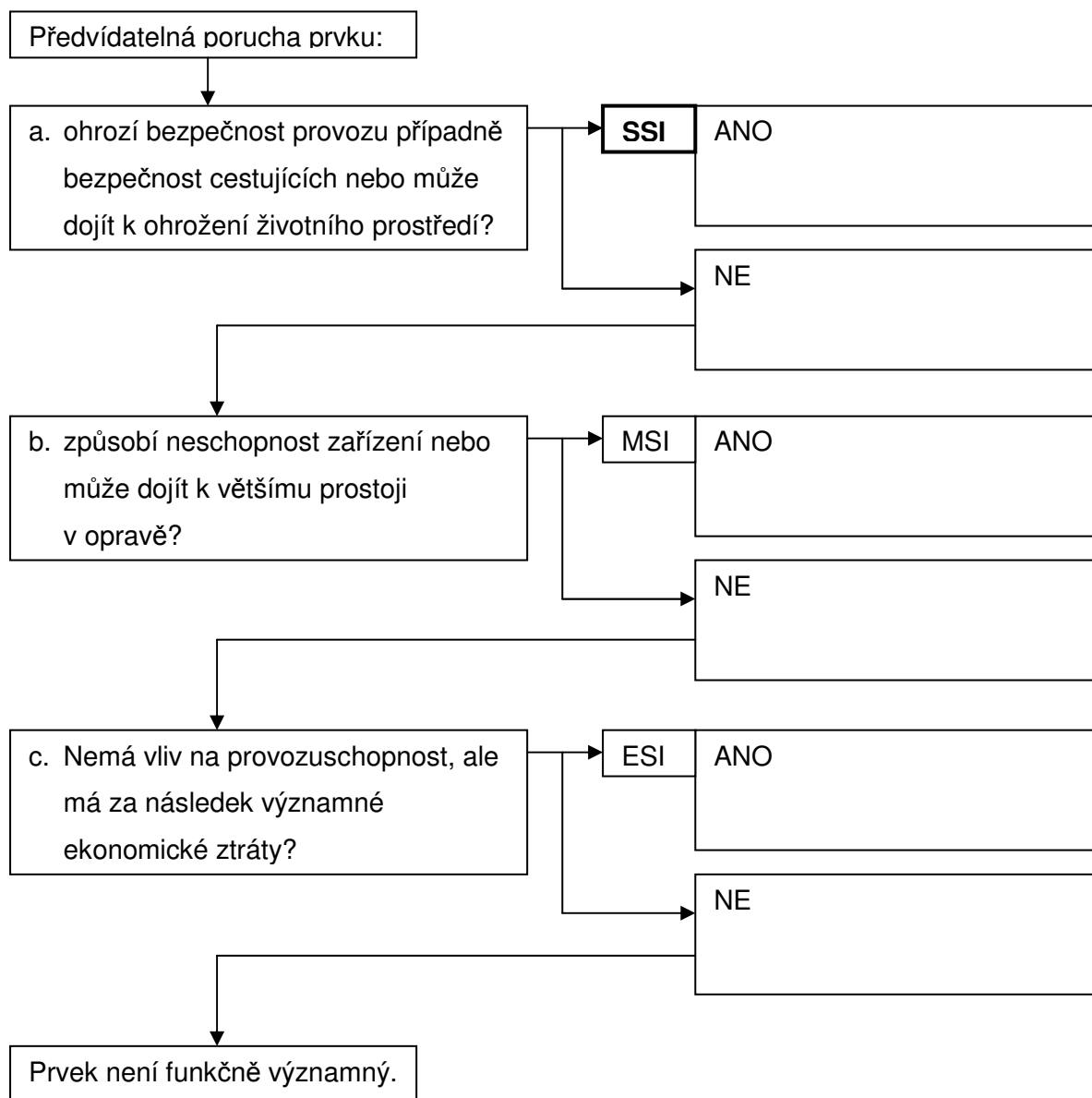
- při této poruše dochází k provoznímu omezení a obsluha je nucena použít postupy pro mimořádné případy (např. dojde k prodloužení jízdy vlaku),
- porucha může vyvolat nefunkčnost zařízení.

Celky **ESI** - porucha s významným dopadem na ekonomiku,

- nebrání provozu vozidla, ale vznikají velké ekonomické ztráty na dodatečnou pracovní sílu a materiál,
- musíme si položit otázku, zda-li bude preventivní údržba levnější než oprava daného celku po poruše. [8]

Algoritmus pro kategorizaci FSI:

Každý prvek se podrobí třem otázkám, na jejichž základě se určí, jaký typ předvídatelné poruchy u něj může nastat. Algoritmus tedy slouží pro rozdělení prvků FSI na celky SSI, MSI, popřípadě ESI. Tvar algoritmu je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 5 – Algoritmus kategorizace FSI [8]

Cíle preventivní údržby pro jednotlivé celky:

SSI – zabránění vzniku první poruchy

MSI – snížit pravděpodobnost vzniku poruchy na přijatelnou úroveň

ESI – provádění preventivní údržby musí být levnější než oprava zařízení po poruše

B. Stanovení prostředků a obsahu údržby:

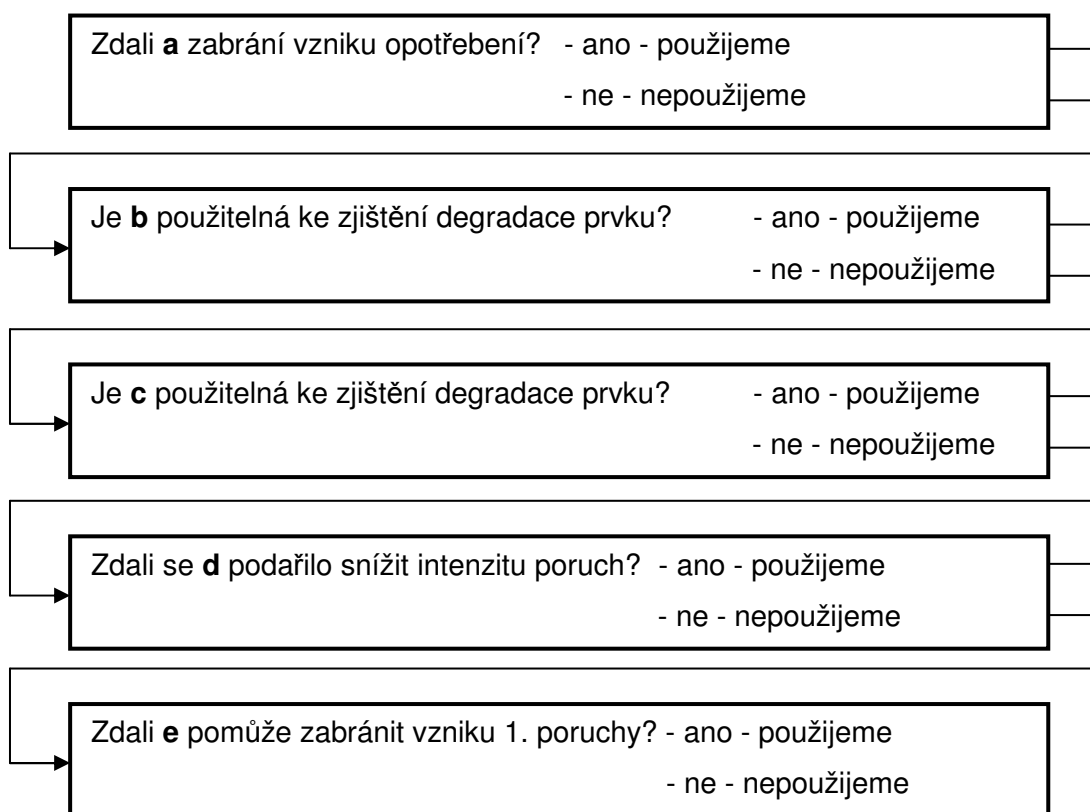
V tomto kroku hledáme prostředky pro dosažení stanovených cílů údržby. Hledáme tedy takový prostředek údržby, který zamezí vzniku poruchy nebo sníží pravděpodobnost jejího vzniku. [8]

Prostředky údržby - mazání, čištění, ošetřování **a**

- provozní kontrola, vizuální kontrola **b**
- kontrola funkce, diagnostika prohlídka **c**
- obnova celku **d**
- vyřazení a výměna celku **e**

Určení prostředků údržby – sestavujeme algoritmy

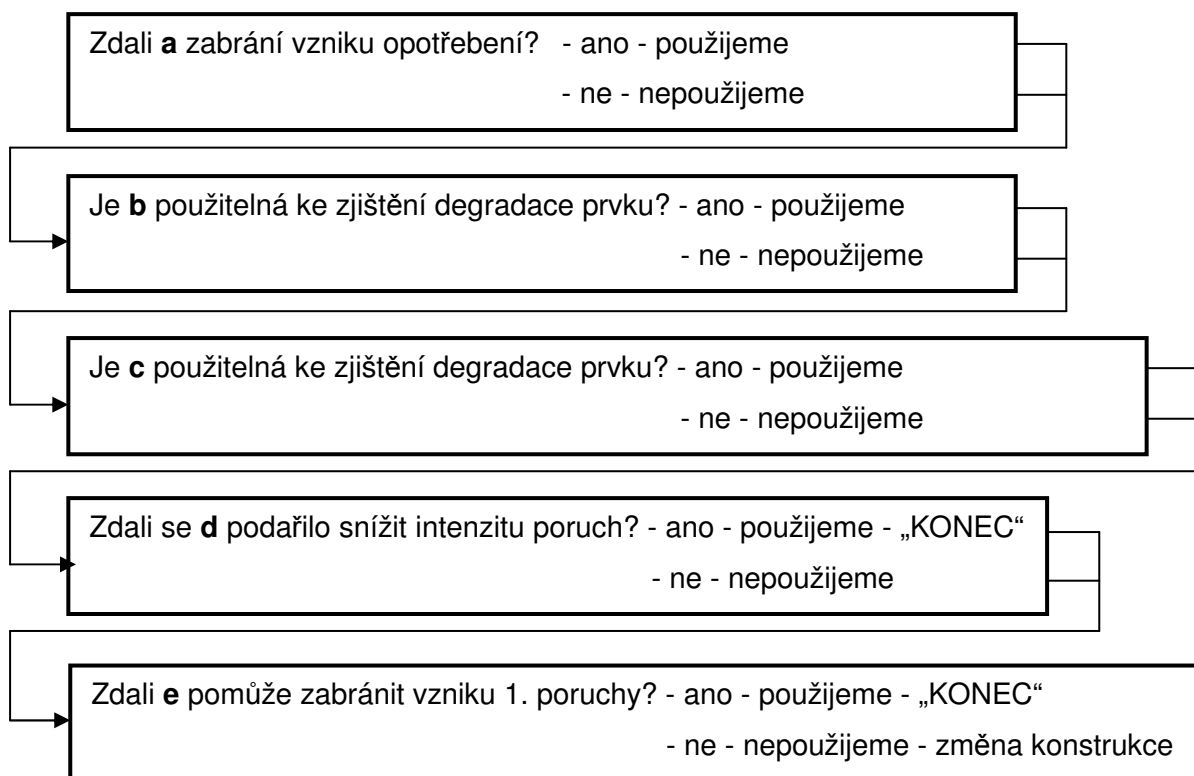
Celky SSI:



Pokud u **c**, **d** a **e** odpovíme NE, je potřeba změnit konstrukci celku.

Obr. 6 – Algoritmus určení prostředků údržby pro celky SSI [8]

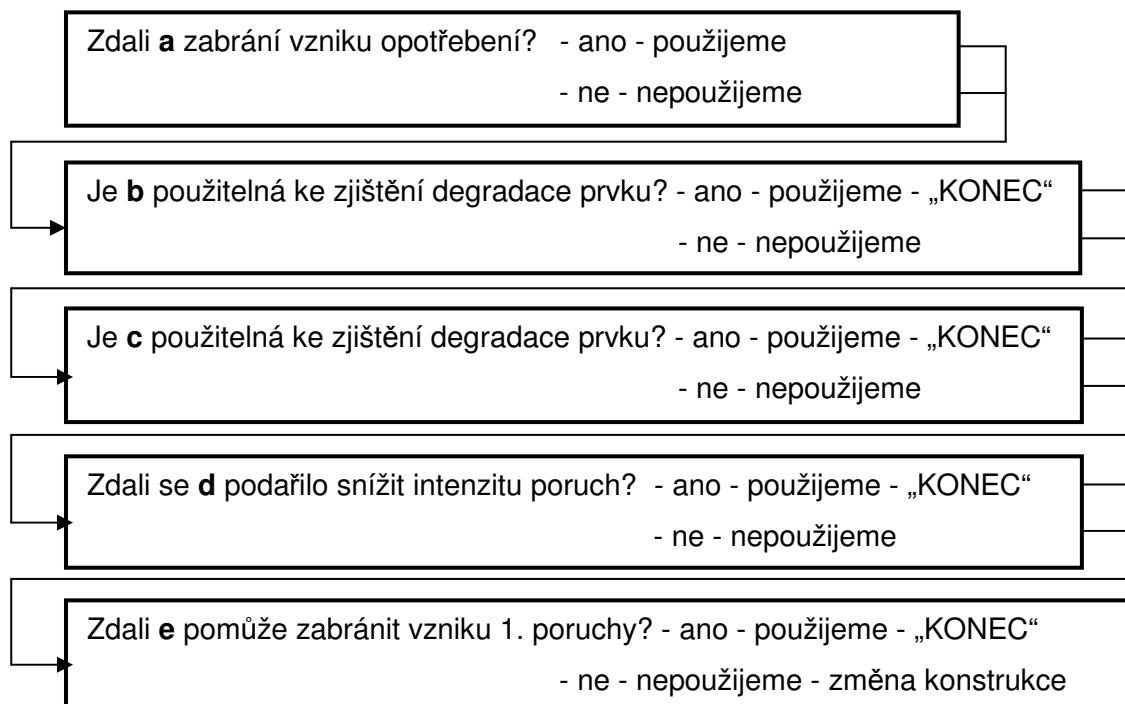
Celky MSI:



Pokud u **d** nebo **e** odpovíme ANO => konec algoritmu.

Obr. 7 – Algoritmus určení prostředků údržby pro celky MSI [8]

Celky ESI:



Pokud u některého z **b**, **c**, **d** a **e** odpovíme ANO => konec

Obr. 8 – Algoritmus určení prostředků údržby pro celky ESI [8]

C. Konkrétní postup prací při údržbě:

Shrnutí výstupů z bodu B (stanovení prostředků a obsahu údržby).

D. Stanovení intervalů údržby:

V tomto kroku stanovíme intervaly údržby jednotlivých (funkčně významných) komponentů. Intervaly údržby jednotlivých komponentů daného zařízení je možno stanovit:

- na základě legislativy
- na základě výpočtu - SSI - nízký kvantil pravděpodobnosti poruchy $F(t)$, ze kterého vypočítáme dobu do poruchy t ,
- na základě odhadu - použijeme tehdy, pokud máme nedostatečná data o spolehlivosti daného prvku (soustavy),
 - v tomto případě se řešitel řídí poznatky o obdobných systémem a jeho vlastními zkušenostmi. [8]

E. Sestavení programu údržby:

- hledáme kompromis mezi intervaly údržby (neplatí pro celky SSI),
- snažíme se seskupit jednotlivé práce tak, aby na jednom konstrukčním celku byly prováděny najednou. [8]

2 Hodnocení funkční bezpečnosti

Kapitola zabývající se funkční bezpečností. Je zde popsána metoda FMEA, sloužící pro hodnocení funkční bezpečnosti, koncepce ALARP a nakonec metoda stromu poruch FTA.

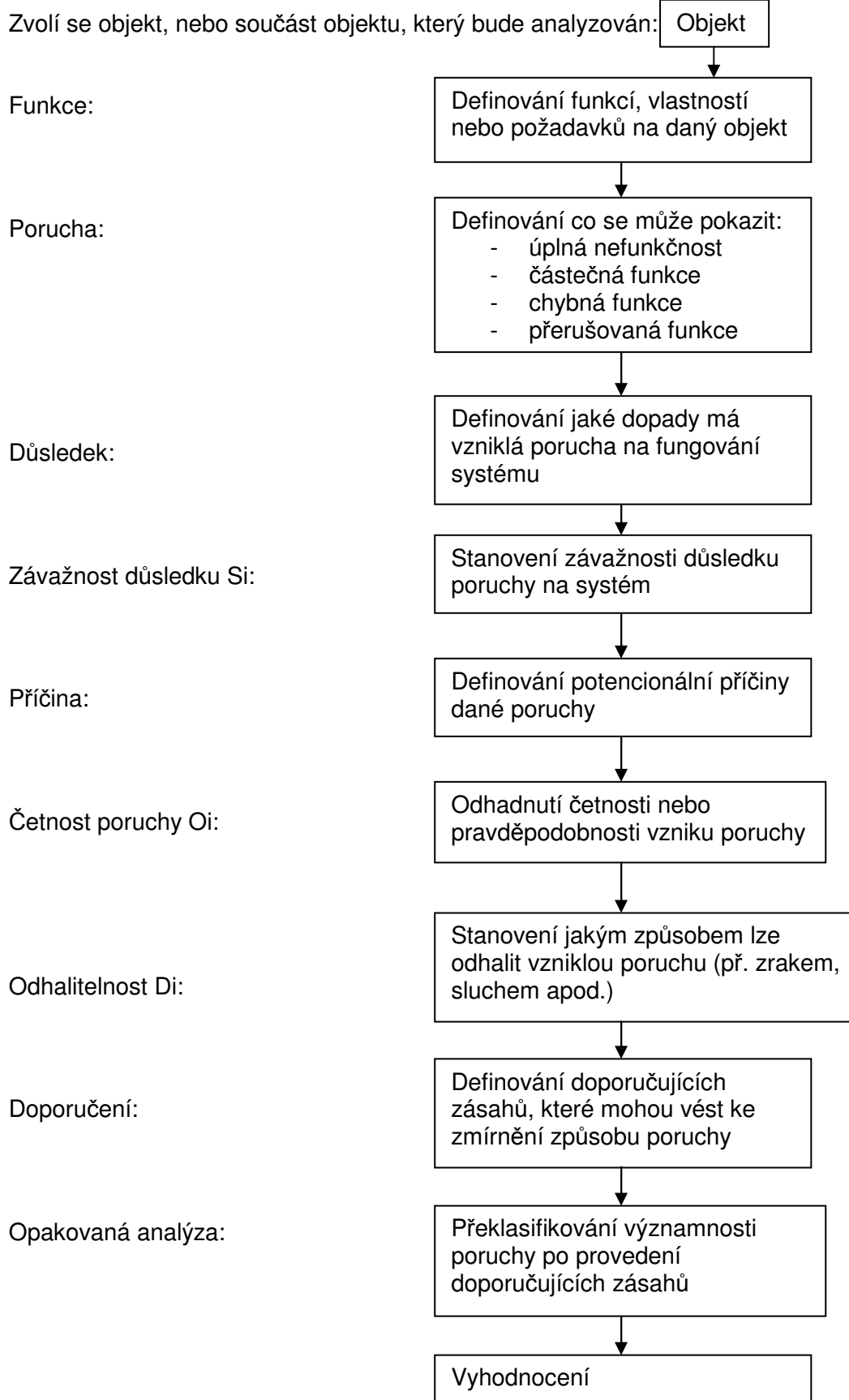
2.1 Analýza způsobů a důsledků poruch FMEA

Jedná se o kvalitativní metodu hodnocení funkční bezpečnosti. Slouží k analýze bezpečnosti a bezporuchovosti zařízení. Výsledkem analýzy je určení hodnoty významnosti rizika (RPN) a zanesení nejzávažnějších důsledků poruch, daného objektu, do matice závažnosti. Všeobecně platí, že čím vyšší RPN, tím je důsledek daného rizika závažnější. [1]

2.1.1 Základní pojmy [1]

Objekt	Součást, systém nebo subsystém, kterým je možno se individuálně zabývat.
Důsledek poruchy	Následek, který má porucha na funkci nebo stav objektu.
Způsob poruchy	Způsob, kterým dojde ke vzniku poruchy.
Kritičnost poruchy	Kombinace závažnosti, četnosti, odhalitelnosti nebo jiných vlastností poruchy.
Závažnost poruchy	Význam nebo stupeň důsledku poruchy na funkci objektu, na obsluhu nebo na okolní prostředí.

2.1.2 Postup analýzy FMEA



2.1.3 RPN (Risk Priority Number)

Bezrozměrná hodnota, která nám ukazuje relativní významnost poruchy. Na základě velikosti RPN rozhodujeme, jestli musíme provést určitá opatření pro snížení rizika nebo jestli snížení rizika není nutné. [1]

Vztah pro výpočet RPN [1]:

$$RPN = Si \cdot Oi \cdot Di [-] \quad (1)$$

kde:

Si...závažnost poruchy [-]

Oi...četnost poruchy [-]

Di...odhalitelnost poruchy [-]

2.1.3.1 Závažnost poruchy

Závažnost poruchy je známka (zpravidla 1 – 10), která je přiřazena důsledku poruchy podle toho, jak závažný dopad má daný důsledek na chování zařízení. Na základě toho sestavíme tabulku, ve které přesně definujeme jednotlivé důsledky.

Tabulka č. 1 – Klasifikace závažnosti poruchy [4]

Známka	Důsledek	Popis závažnosti důsledku
1	Žádný	Žádný známý důsledek – nemá vliv na funkci zařízení
2	Zanedbatelný	Nezásadní porucha – např. skřípání
...		
9	Nebezpečný důsledek	Např. porucha ohrožuje život (zdraví) lidí, ale včasným vypnutím zařízení jsme schopni tomuto zabránit
10	Katastrofální důsledek	Náhlá porucha ohrožující život lidí

2.1.3.2 Četnost poruchy

Četnost poruchy je v podstatě pravděpodobnost, s jakou je možné, že daná porucha během provozu vznikne. Pro hodnocení četnosti opět sestavíme tabulku, ve které pravděpodobnosti vzniku poruchy rozdělíme do několika stupňů (zpravidla 10). Četnost poruch může být určena ze zkušeností s provozem zařízení, ze skutečných dat o provozu,

nebo si můžeme zvolit jiná kritéria (např. rozdělení soustavy na mechanické a elektronické části).

Tabulka č. 2 – Klasifikace četnosti výskytu poruchy [1]

Známka	Výskyt způsobu poruchy	Četnost
1	Velice slabá – porucha je nepravděpodobná	< 0,010 na tisíc vozidel / objektů
2	Nízká – poměrně málo poruch	0,1 na tisíc vozidel / objektů
...		
9	Vysoká – pravidelně opakující se poruchy	50 na tisíc vozidel / objektů
10	Velmi vysoká – téměř nevyhnutelná	> 100 na tisíc vozidel / objektů

2.1.3.3 Odhalitelnost poruchy

Určení jakým způsobem jsme schopni vzniklou poruchu odhalit, např. sluchem, zrakem nebo jestli poruchu odhalí např. diagnostika přístroje. Pro hodnocení si opět sestavíme tabulku, kde onu odhalitelnost rozdělíme do několika stupňů (zpravidla 10).

Tabulka č. 3 – Klasifikace odhalitelnosti poruchy [1]

Známka	Odhalitelnost	Kritéria
1	Téměř jistá	Při řízení návrhu se bude téměř jistě detekovat potencionální příčina a následný způsob poruchy
2	Velmi vysoká	Je velmi vysoká naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potencionální příčina a následný způsob poruchy
...		
9	Velice slabá	Je velice slabá naděje, že při řízení návrhu bude detekována potencionální příčina a následný způsob poruchy
10	Absolutně nejistá	Při řízení návrhu se nebude detekovat potencionální příčina a následný způsob poruchy nebo žádné řízení návrhu neexistuje

Pozn.: Počet stupňů a jejich definice pro hodnocení jednotlivých kritérií není nikde přesně stanoven. Při definování jednotlivých kritérií závisí na konkrétní oblasti použití a také na samotném řešiteli.

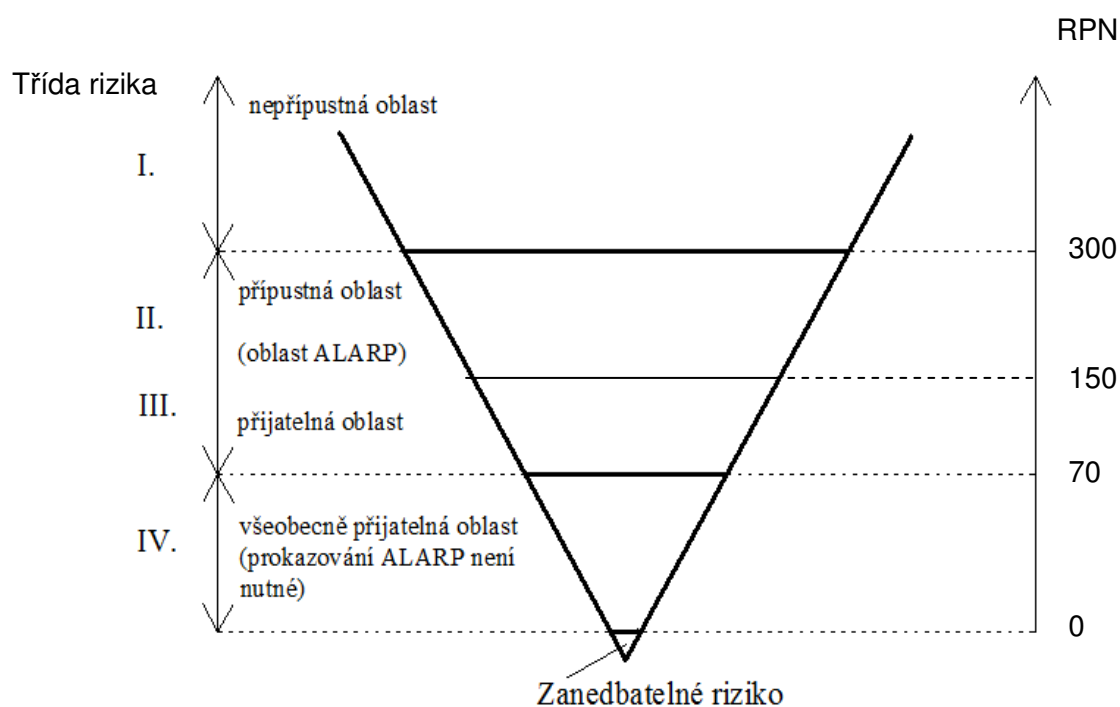
2.1.4 Koncepce ALARP

Jedná se o metodu pro dosažení přípustné úrovně rizika. Za tímto účelem se rizika rozdělují do tří různých stupňů:

- a) riziko je příliš velké (nepřijatelné), a tak je nutné se rizikem zabývat a zcela vyloučit,
- b) riziko je tak malé (nebo už bylo dřívějšími opatřeními sníženo), že jeho působení bude bezvýznamné, nemusíme se rizikem zvlášť zabývat, ale musíme dohlédnout, aby se na této úrovni udrželo,
- c) riziko se nachází mezi stavy a) a b), a bylo již sníženo na přípustnou úroveň se zvážením hlediska přínosů a nákladů spojených s jeho dalším snižováním. [2]

2.1.4.1 Cíl přípustného rizika

Abychom mohli nějakým způsobem vyhodnotit, do jaké oblasti, v našem konkrétním problému, dané riziko spadá, můžeme to provést rozdělením rizik do tříd. Do jaké třídy dané riziko přiřadíme, můžeme určit například pomocí hodnoty RPN. [2] Zde ovšem opět platí, že přiřazení velikosti RPN k jednotlivým třídám rizika, závisí na konkrétní oblasti použití a také na samotném řešiteli.



Obr. 9 – Model ALARP [6]

Tabulka č. 4 – Význam jednotlivých tříd rizika dle normy ČSN EN 61508 [2]

Třída rizika	Výklad
I	Nepřípustné riziko – nutné snížení
II	Nežádoucí riziko – akceptujeme jej pouze tehdy, když není možné snížení rizika nebo vynaložené náklady ke snížení by byly neúměrné dosažitelnému zlepšení.
III	Přípustné riziko – tehdy, když by náklady na snížení rizika přesáhly dosažené zlepšení.
IV	Zanedbatelné riziko – není nutné se rizikem zabývat.

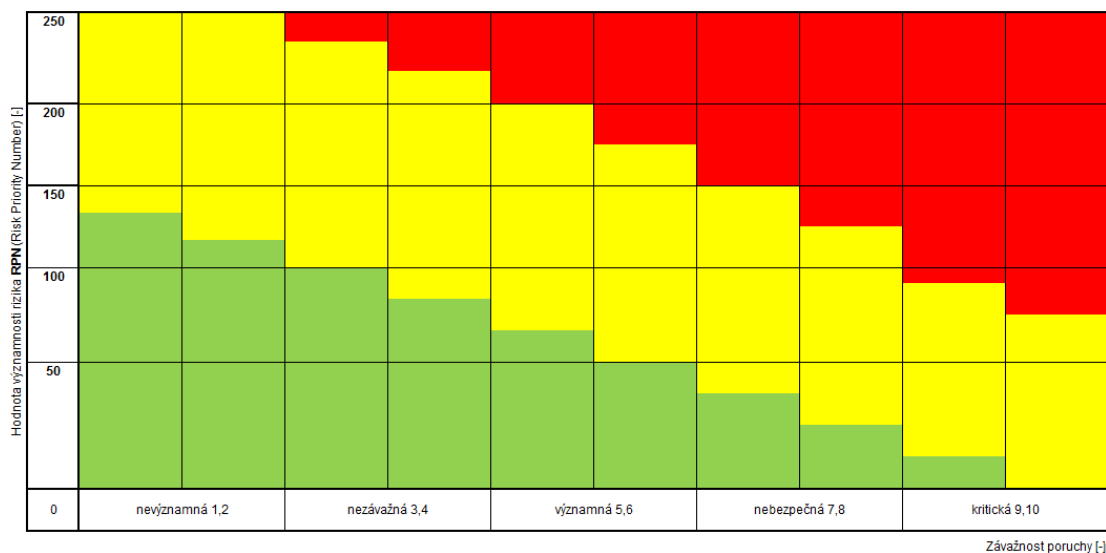
Tabulka č. 5 – Ukázkový příklad klasifikace rizika dle normy ČSN EN 61508 [2]

Četnost	Následek			
	Katastrofální	Kritický	Nepodstatný	Zanedbatelný
Častá	I	I	I	II
Pravděpodobná	I	I	II	III
Příležitostná	I	II	III	III
Málo častá	II	III	III	IV
Nepravděpodobná	III	III	IV	IV
Neuvěřitelná	IV	IV	IV	IV

2.1.5 Matice závažnosti (kritičnosti)

Matice závažnosti (nebo také kritičnosti) je v podstatě graf udávající závislost hodnoty RPN (viz kapitola 2.1.3) na závažnosti dané poruchy rozdělené do několika skupin (viz kapitola 2.1.3.1), nebo matice závažnosti může udávat závislost pravděpodobnosti vzniku poruchy na závažnosti dané poruchy apod. Je nutné říci, že tvar a obsah matice není nikde přesně definován, tzn., že neexistuje žádná univerzální matice závažnosti. Všechno tedy závisí na konkrétní oblasti použití a také na samotném řešiteli. [1]

Matice je rozdělena do několika skupin (zpravidla 3) a jednotlivé skupiny jsou od sebe barevně odlišeny. Tyto skupiny nám rozdělují rizika do jednotlivých tříd (viz kapitola 2.1.4.1). Pro komponenty nacházející se v červeném poli je nutné snížení rizika vzniku poruchy, ve žlutém poli je možné snížení rizika (s přihlédnutím na náklady, které by s tímto byly spojeny) a v zeleném poli není nutné provést snížení rizika. Snížení rizika se provede pomocí koncepce ALARP, která je podrobněji popsána v kapitole 2.1.4.



bez opatření
možné opatření
nutné opatření

Obr. 10 – Matice závažnosti

2.2 Analýza stromu poruch FTA

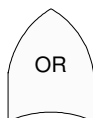
Analýza FTA dnes patří mezi nejčastěji používané nástroje pro hodnocení spolehlivosti složitých systémů. Poskytuje nám přehledný a stručný popis všech příhod (poruchových stavů), které mohou vést k vzniku tzv. vrcholové události. [10]

2.2.1 Konstrukce stromu poruch

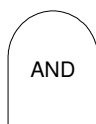
Při konstrukci stromu poruch vycházíme z vrcholové události, pomocí které dále rozvíjíme diagram o příčiny, které vedou k jejímu dosažení. [10]

Při rozvíjení využíváme:

- **logického součtu** – hradlo **OR** – vrcholová událost vznikne, jestliže nastane jedna z n událostí,



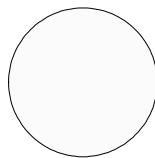
- **logického součinu** – hradlo **AND** – vrcholová událost vznikne, jestliže nastane současně n událostí,



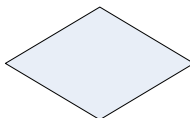
- **výběrové logiky** – hradlo ***m z n*** – vrcholová událost vznikne, jestliže nastane *m* libovolných událostí z *n*.



- **primární událost** – základní chyba, kterou není možné dále dělit (můžeme u ní stanovit pravděpodobnost poruchy)



- **nerozvinutá událost** – událost, kterou dále nerozvíjíme (nemáme o ní informace nebo má malý význam)

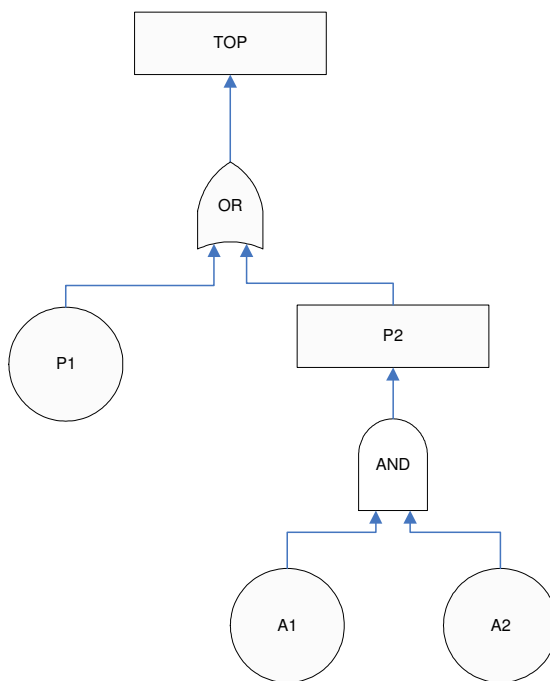


Vrcholová událost:

Vrcholová událost (značíme TOP událost, špičková událost nebo porucha systému apod.) je taková událost, po jejímž vzniku není systém schopen plnit svou funkci, nebo taková událost, která je pro nás nežádoucí.

Při rozvíjení stromu poruch, hledáme všechny možné příčiny vzniku vrcholové události. Tyto příčiny rozvíjíme až do takové úrovně, kdy jsme schopni určit pravděpodobnost jejich vzniku. [10]

Ukázka stromu poruch:



Obr. 11 – Příklad stromu poruch

3 Hodnocení provozní spolehlivosti

Kapitola zabývající se popisem tzv. zkušebních plánů, které řadíme do ověřovacích zkoušek spolehlivosti, a lze podle nich hodnotit provozní spolehlivost daného zařízení.

3.1 Zkušební plány

„Zkušební plán je definován jako soubor pevných pravidel, podle kterých je zkouška prováděna a podle kterých je také ukončena.“ [9]

A. Dělení zkušebních plánů:

- a) **r-plán** – délka zkoušky je omezena počtem poruch (náhodná veličina – doba zkoušky),
- b) **t-plán** – délka zkoušky je omezena časem (náhodná veličina – počet poruch),
příkladem použití těchto plánů je například sledování provozní spolehlivosti určité řady hnacích vozidel,
- c) **úplný zkušební plán** = zkouška bez omezení – zkouška je ukončena až tehdy, kdy dojde k poruše posledního zkoušeného prvku. [9]

B. Značení zkušebních plánů:

Značení zkušebních plánů se provádí pomocí trojice znaků:

[n; U, R nebo M; r₀ nebo τ₀]

Význam uvedených znaků:

n...počet zkoušených výrobků (zařízení) [-]

U...pokud dojde při zkoušce k poruše výrobku, tento není opravován nebo vyměněn a je okamžitě vyřazen ze zkoušky

R...pokud dojde při zkoušce k poruše výrobku, tento je ihned nahrazen novým

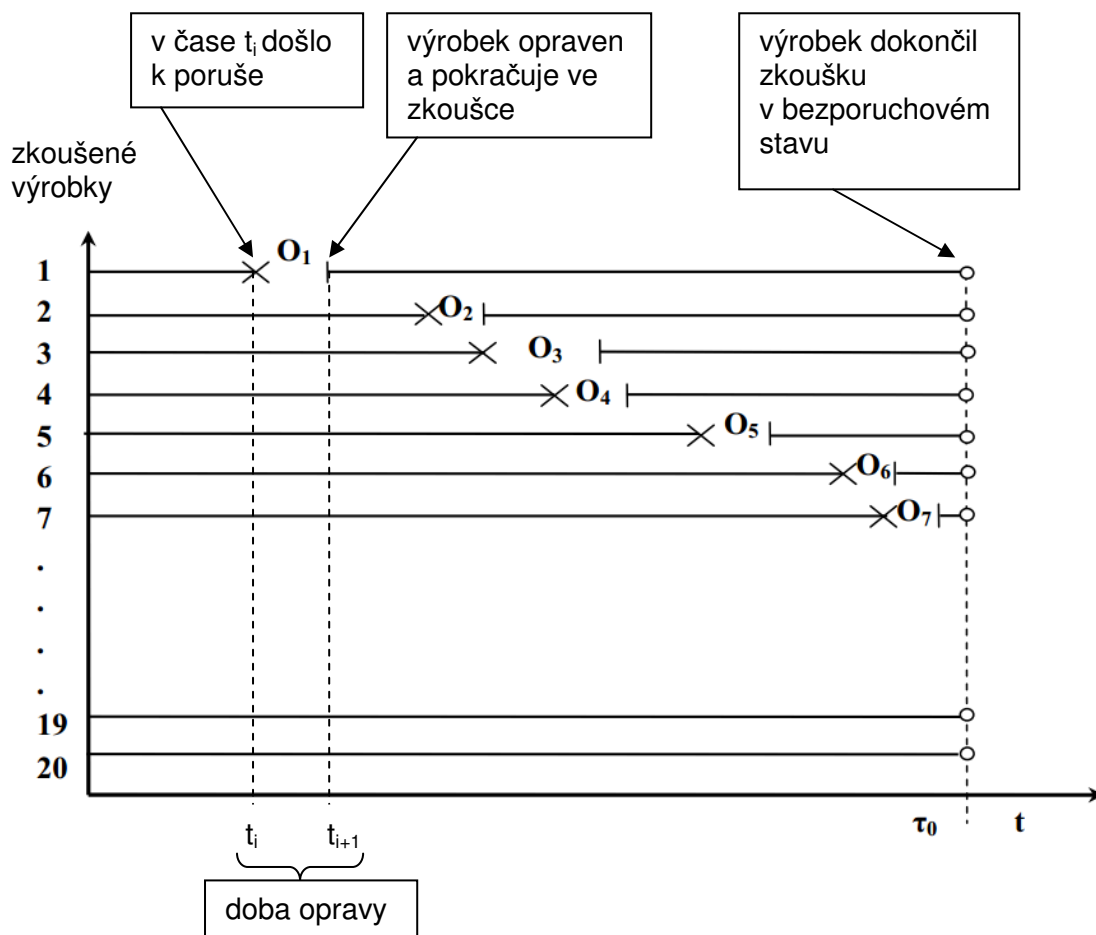
M...výrobek je při poruše stažen, opraven a následně opět pokračuje ve zkoušce

r₀...maximální počet poruch – pokud dojde při zkoušce k r₀-té poruše, zkouška končí (použijeme u r-plánu) [-]

τ₀...doba trvání zkoušky – při dosažení doby τ₀ zkouška končí (použijeme u t-plánu) [h]

C. Grafické znázornění zkušebních plánů:

Pokyny pro zpracování grafického znázornění zkušebního plánu jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obr. 12 – Grafické znázornění zkušebního plánu (t-plán) [9]

3.1.1 Stanovení akumulovaného pracovního času

Akumulovaný pracovní čas T_{AKU} je důležitou časovou veličinou definující průběh zkoušky. Jedná se o čas, po který jsou všechny zkoušené výrobky v provozu. Do tohoto času se tedy nepočítají doby opravy ani doby, po které je daný výrobek vyřazen ze zkoušky. Vztah pro výpočet T_{AKU} je závislý na konkrétním typu zkušebního plánu. Pro příklad jsou zde uvedeny vztahy pro: [9]

a. zkušební plán $[n, M, r]$: $T_{AKU} = (n - r_0) \cdot \tau + r_0 \cdot (\tau - \sum_{i=1}^{r_0} T_{Oi})$ [h] (2)

b. zkušební plán $[n, M, t]$: $T_{AKU} = (n - r) \cdot \tau_0 + r \cdot (\tau_0 - \sum_{i=1}^{r_0} T_{Oi})$ [h] (3)

kde:

T_{AKU} ...akumulovaný pracovní čas	[h]
r ...počet vzniklých poruch za dobu trvání zkoušky	[-]
τ ...doba trvání zkoušky (tj. doba do vzniku r_0 -té poruchy)	[h]
T_O ...doba opravy	[h]

3.1.2 Vyhodnocení zkušebních plánů

Vyhodnocením ověřujeme dosažené parametry spolehlivosti daného výrobku. Podle normy ČSN ISO 9000:2000 je důležitým parametrem spolehlivosti výrobku jeho bezporuchovost. Bezporuchovost znamená, že výrobek je s určitou pravděpodobností schopen plnit požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek. Bezporuchovost můžeme vyjádřit pomocí tzv. střední doby do poruchy. [7]

Konfidenční úroveň (věrohodnost zkoušky) = pravděpodobnost, s jakou se daný ukazatel spolehlivosti (v našem případě bezporuchovost) nachází ve stanovených mezích. Tyto meze nazýváme konfidenční interval. [9]

$C = 0,95$ – věrohodnost zkoušky 95%, tedy velmi vysoká

$C = 0,05$ – věrohodnost zkoušky 5%, tedy velmi nízká

Pro vyhodnocení zkoušky nejčastěji používá pouze dolní odhad střední hodnoty. Tento dolní odhad také nazýváme jako levostranný.

Dolní odhad střední doby do poruchy - Exponenciální rozdělení: [9]

$$T_{SD} \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}}{\chi^2_{2v;C}} [h] \quad (4)$$

kde:

T_{SD} ...dolní odhad střední doby do poruchy [h]

T_{AKU} ...akumulovaný pracovní čas [h]

$\chi^2_{2v;C}$...hodnota chí-kvadrát rozdělení pro $2v$ stupňů volnosti na konfidenční úrovni C [-]

v ...počet stupňů volnosti; $v = r + 1$ [-]

r ...počet poruch, ke kterým došlo při zkoušce [-]

Dolní odhad střední doby do poruchy – Weibullovo rozdělení: [9]

$$T_{SD}^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2v;c}^2} [h] \quad (5)$$

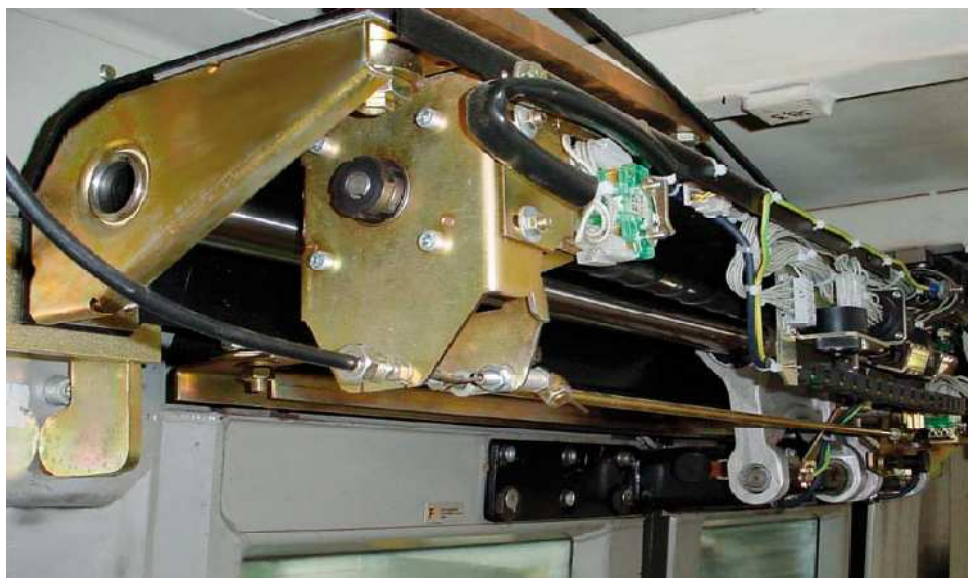
kde:

m...parametr tvaru Weibullova rozdělení [–]

4 Dvoukřídlé předsuvné dveře



Obr. 13 – Dvoukřídlé předsuvné dveře [11]



Obr. 14 – Pohon dveří [11]

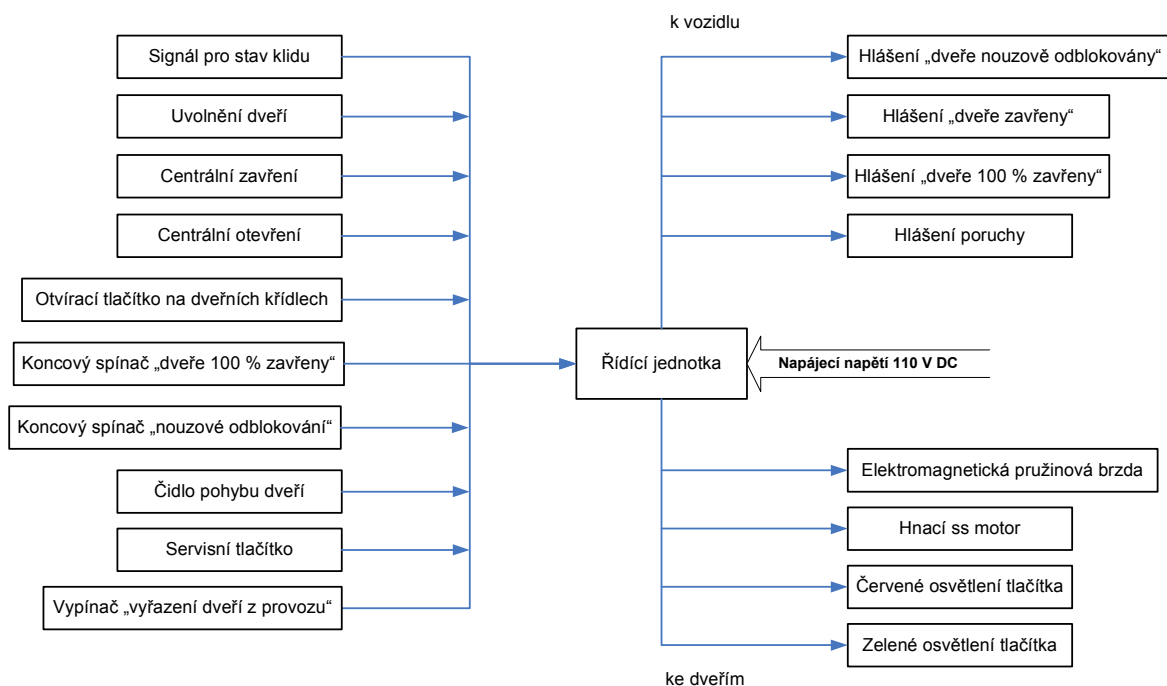
Tabulka č. 6 – Technická data a data systému [15]

Technická data:	
Napájecí napětí	110 V DC $\pm 30\%$
Vlastní spotřeba ovládání	cca 50 mA
Maximální proud motoru	12 A; zkratová odolnost
Digitální vstupy	16
Digitální výstupy	8
Vstupní proud	5 mA při 110 V DC nebo 10 mA při 12 V DC
Zatížení výstupu	0,5 A; zkratová odolnost
Všechny vstupy a výstupy s indikací pomocí LED	
Plně programovatelný	
Rozsah teplot	25°C + 70°C
Data systému:	
Doba otvírání a zavírání	2,4 s +0,5 s / - 0 s
Síly sevření	< 150 N _{efektivní}
	< 200 N _{špičková hodnota}
Zkušební těleso ochrany proti sevření	30 x 60

Jedná se o elektricky poháněné dveře v provedení s vřetenovým pohonem.

4.1 Vstupní a výstupní signály ŘJ

Na následujícím obrázku jsou přehledně znázorněny signály, které řídicí jednotka v provozu přijímá, tzn. ty, se kterými pracuje. Na základě těchto signálů jsou buď vydávána hlášení (porucha, dveře zavřeny apod.) nebo jsou uvedeny do chodu určité komponenty dveří (hnací motor apod.). [15]



Obr. 15 – Vstupní a výstupní signály

4.2 Funkce dveří

V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé provozní i bezpečnostní funkce dveří.

Otevření dveří:

Centrální otevření dveří – po zadání povelu „centrální otevření“ strojvedoucím se otevřou všechny dveře na příslušné straně (přepínač na pultu strojvedoucího nastaven v poloze C).

Místní otevření dveří – po zadání povelu „centrální otevření“ strojvedoucím se otevřou pouze ty dveře, u kterých bylo za jízdy nebo ve stavu klidu zmáčknuťo otvírací tlačítko na dveřních křídlech => požadavek uložen do paměti (přepínač na pultu strojvedoucího nastaven v poloze M).

Otevření dveří – posloupnost funkcí:

- 1) klidový signál - nadřazený signál všem otvíracím (zavíracím) signálům,
- vozidlo stojí (popř. $v < 3 \text{ km/h}$),
- 2) sepnuto bezpečnostního relé - aktivací signál - $v < 3 \text{ km/h}$,
- 3) nastavení (odblokování) elektromagnetické pružinové brzdy („centrální otevření“ – všechny dveře; „místní otevření“ – jen ty dveře, u kterých vznikl požadavek),
- 4) aktivace ovládání dveří (ss motor) přivedením dodávky napětí - nastavení otáčení rotoru ss motoru ve směru otvírání (platí to samé jako v bodu 3),
- 5) koncový spínač „dveře 100% zavřeny“ rozepnutý – hlášení „dveře zavřeny“
- 6) čidlo pohybu vysílá impulzy řídící jednotce (informace o aktuální poloze dveří),
- 7) kontrola proudu motoru v průběhu otvírání (mezní křivka),
- 8) klidový signál. [15]

Zavření dveří:

Dveře se zavírají pomocí tlačítka na pultu strojvedoucího „centrální zavření“ nebo pomocí servisního tlačítka. Bez uzavření všech dveří (tzv. „**zelená smyčka**“) není umožněn odjezd vlaku.

Zavření dveří – posloupnost funkcí:

- 1) klidový signál,
- 2) sepnuté bezpečnostní relé,

- 3) nastavení (odblokování) elektromagnetické pružinové brzdy („centrální otevření“ – všechny dveře; „místní otevření“ – jen ty dveře, u kterých vznikl požadavek),
- 4) aktivovaný koncový spínač „dveře 100 %zavřeny“ – hlášení „dveře zavřeny“,
- 5) aktivace ovládání dveří (ss motor) přivedením dodávky napětí - nastavení otáčení rotoru ss motoru ve směru zavírání (platí to samé jako v bodu 3),
- 6) čidlo pohybu vysílá impulzy řídicí jednotce (informace o aktuální poloze dveří), pokud čidlo přestane vysílat impulzy ještě u neuzavřených dveří => dveře se začnou reverzovat (to samé platí, pokud čidlo vysílá impulzy a je sepnutý koncový spínač „dveře 100% zavřeny“),
- 7) aktivní ochrana proti sevření dveřmi (kontrola proudu motoru při zavírání),
- 8) sepnutí spínače „dveře zavřeny a zablokovány“,
- 9) uzavření tzv. „zelené smyčky“ => umožněn odjezd vlaku. [15]

Ochrana proti sevření dveřmi:

Popis funkce:

- kontrola proudu motoru během zavíracího procesu (velikost proudu závisí na aktuální pozici dveří)
- při překročení mezní hodnoty proudu dojde k reverzování dveří (otevření cca 200 mm)
- pozn.: pokud zareaguje kontrola 3x po sobě, dveře se úplně otevrou a zůstanou v otevřené poloze – poté nutné provést centrální zavření (strojvedoucí) => pokud toto není možné => vyřazení dveří z provozu. [15]

Zkušební těleso pro zkoušku ochrany proti sevření je hranol 30 x 60 mm. Pokud se mezi dveřní křídla dostane předmět o menší tloušťce, dveře se nereverzují (dáno sepnutím spínače „dveře 100% zavřeny“). [13]

Pozn.: Dveře se začnou reverzovat i v případě, že čidlo dráhy dveří přestane vysílat impulzy řídicí jednotce ještě u neuzavřených dveří.

Nouzové odblokování:

Prvky uvedené do činnosti při užití nouzového odblokování:

- a) otočný ovladač v prostoru cestujících
- b) bovden
- c) koncový spínač „nouzové odblokování“
- d) řídicí jednotka
- e) elektromagnetická pružinová brzda

Popis funkce nouzového odblokování:

1. cestující v případě potřeby otočí ovladač do polohy „odblokováno“
2. pomocí bovdeny - sepne koncový spínač „nouzové odblokování“, čímž řídící jednotka dostane informaci, že bylo manipulováno s nouzovým odblokováním a odpojí ovládací funkce dveří
 - dojde k nastavení (odblokování) pružinové brzdy
 - dveře potom lze ručně otevřít [15]

Pozn.: Dveře lze nouzově otevřít, i když nedojde k sepnutí koncového spínače.

Dveře lze nouzově otevřít jak při stojícím vozidle, tak i při jízdě.

5 Strom poruch FTA – funkce dveří

Kapitola znázorňuje vztahy jednotlivých komponentů dveřního systému k určité funkci dveří pomocí metodiky stromu poruch. Pro zpřehlednění řešení je v této kapitole uvedena konstrukce stromu poruch pro jednu funkci nástupních dveří, konkrétně funkce nouzového odblokování. Stromy poruch pro všechny funkce jsou uvedeny v příloze.

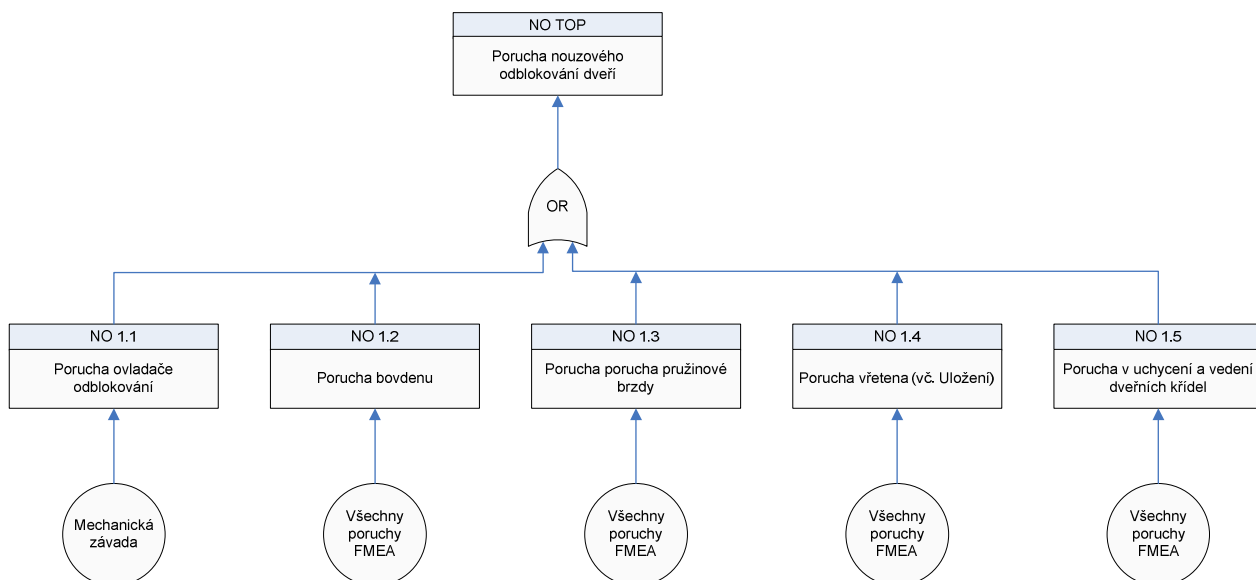
5.1 Strom poruch – funkce nouzového odblokování

Náležitosti konstrukce stromu poruch jsou uvedeny v kapitole 2.2.1. Popis funkce nouzového odblokování je uveden v kapitole 4.2.

Určení komponentů, jejichž poruchou dojde ke ztrátě funkce nouzového odblokování:

- otočný ovladač nouzového odblokování v prostoru pro cestující,
- bovden nouzového odblokování
- elektromagnetická pružinová brzda (odbrzdující páka – mechanické odbrzdění)
- vřeteno
- prvky v uchycení a vedení dveřních křídel.

Pokud dojde k poruše alespoň jedné z výše uvedených poruch, dveře nebude možné nouzově odblokovat. Grafické znázornění stromu poruch potom bude vypadat následovně:



Obr. 16 – Strom poruch pro ztrátu funkce nouzového odblokování

Jednotlivé stromy poruch jsou rozvedeny pouze do první úrovně a následně je rozvíjení stromu poruch ukončeno pomocí bloku „nerozvinutá událost“. To z důvodu, že v rámci této práce je prováděna také analýza FMEA, ve které je o všech možných poruchách jednotlivých komponentů dveřního systému podrobněji pojednáno. Strom poruch je tedy v tomto případě uveden pouze pro lepší orientaci a také přehlednější znázornění vazeb jednotlivých komponentů na konkrétní funkce dveří.

6 Analýza FMEA pro nástupní dveře – metodika řešení:

Pro zpřehlednění řešení je v této kapitole uvedena analýza FMEA pouze pro jeden komponent nástupních dveří. Konkrétně se jedná o bovden, jehož hlavním úkolem je odblokování dveří (uvolnění pružinové brzdy) při použití ovladače nouzového odblokování. Kompletní analýza FMEA nástupních dveří je uvedena v příloze D.

Analýza FMEA, tedy analýza zkoumající závažnost potencionální poruchy daného prvku, nám z hlediska plánování údržbových zásahů může dát přehled o tom, u jakých prvků by údržba neměla být v žádném případě zanedbána. Výstupem z analýzy jsou tedy prvky důležité především z hlediska bezpečnosti, popřípadě prvky, které přímo nesouvisí s bezpečností, ale mají za důsledek například značné omezení technických parametrů nebo funkcí. Samozřejmě pokud se analýzou prokáže, že bezpečnostní rizika

jsou způsobena chybou konstrukce zařízení, není na místě a ani toto nelze řešit pomocí údržby.

Za pomoci této analýzy jsou tedy určeny bezpečnostně nebo funkčně významné komponenty, na které se bude muset brát při údržbě hlavní dohled, a u kterých nesmí být údržba opomenuta. Údržba u těchto komponentů může být například prováděna formou vizuální kontroly, kontroly funkce nebo formou preventivní výměny po určitém čase v provozu.

6.1 Kritéria hodnocení významnosti rizik:

Pro hodnocení významnosti příčin a následků předvídatelných poruch pomocí této metody je nejdříve nutné rozdělit závažnost, četnost a odhalitelnost poruchy do jednotlivých tříd. Pro hodnocení jsem zvolil 10 stupňů ke každému kritériu, kdy stupeň s číslem 10 představuje nejhorší důsledek poruchy, největší četnost poruchy a nejobtížnější odhalitelnost poruchy, stupeň s číslem 1 naopak. Každá z uvedených tříd je popsána pomocí číselného a slovního vyjádření.

Je důležité říci, že počet stupňů a jejich klasifikace není závazný a přesně definovaný. Tato kritéria se mohou odvíjet a záviset na konkrétní oblasti řešení, ale také závisí samozřejmě na vlastním řešiteli. V následujících tabulkách jsou podrobně rozepsány jednotlivé stupně hodnocení pro určení významnosti rizika.

Tabulka č. 7 – Kritéria určení stupně závažnosti (Si) poruchy pro analýzu FMEA

1	Žádný důsledek	Zařízení zůstává v provozuschopném a bezpečném stavu.
2	Minimální důsledek	Při fungování dochází ke skřípání nebo jiným takovýmto jevům.
3	Nepatrný důsledek	Při fungování dochází ke skřípání nebo jiným takovýmto jevům – nutná oprava.
4	Malý důsledek	Porucha prvku, který nemá vliv provoz zařízení.
5	Mírný důsledek	Porucha způsobující snížení technických parametrů a neovlivňující bezpečnost.
6	Větší důsledek	Porucha neumožňující provoz a neovlivňující bezpečnost.
7	Významný důsledek	Porucha přímo neovlivňující provoz, ale ohrožující bezpečnost.
8	Velký důsledek	Porucha neumožňující provoz a ohrožující bezpečnost.
9	Nebezpečný důsledek	Porucha ohrožující zdraví osob nebo životní prostředí.
10	Kritický důsledek	Porucha ohrožující život osob.

Pozn.: Hlavní prioritou při definování stupňů závažnosti poruchy bylo přiblížení konkrétní oblasti řešení.

Tabulka č. 8 – Kritéria určení stupně četnosti (O_i) poruchy pro analýzu FMEA

1	Téměř nikdy	Během sledovaného období nedošlo k výskytu poruchy – elektronika. Při zjištění a odstranění poruchy je poté velmi málo pravděpodobné, že dojde k výskytu stejné poruchy.
2	Velice slabá	Během sledovaného období nedošlo k výskytu poruchy – mechanické komponenty. Navržená opatření mohou snížit četnost výskytu poruchy.
3	Slabá	Během sledovaného období došlo k výskytu alespoň jedné poruchy.
4	Nízká	Během sledovaného období došlo k výskytu 2 až 4 poruch.
5	Malá	Během sledovaného období došlo k výskytu 5 až 20 poruch.
6	Střední	Během sledovaného období došlo k výskytu 20 až 50 poruch.
7	Velká	Během sledovaného období došlo k výskytu 40 až 70 poruch.
8	Častá	Během sledovaného období došlo k výskytu 70 až 100 poruch.
9	Vysoká	Během sledovaného období došlo k výskytu 100 až 130 poruch.
10	Téměř jistá	Během sledovaného období došlo k více jak 130 poruchám.

Pozn.: Pro odhad četnosti poruchy byla zhodnocena data získaná z provozu. Podle mého názoru tímto přístupem dosáhneme kvalifikovanějšího odhadu, než kdybychom četnost odhadovali například rozdělením prvků na mechanické části a elektroniku. Přeci jenom reálný provoz nám napoví více o chování zařízení.

Tabulka č. 9 – Kritéria určení stupně odhalitelnosti (D_i) poruchy pro analýzu FMEA

1	Jistá	Ihned viditelná (zařízení je nefunkční).
2	Velmi vysoká	Poruchu vždy zaznamená diagnostika.
3	Vysoká	Ihned viditelná (zařízení mimo provoz), ovšem s přihlédnutím k rizikům, která touto poruchou mohou vzniknout. Poruchu neodhalíme za provozu – ovšem velmi krátký interval údržby (ne delší než 2 měsíce).
4	Středně vysoká	Na poruchu můžeme být upozorněni, v některých případech může poruchu odhalit diagnostika. Porucha prvku, kterou neodhalíme za žádných okolností za provozu, ovšem interval údržby je velmi krátký.
5	Střední	Na poruchu můžeme být upozorněni, můžeme ji odhalit sluchem – interval údržby do 6 měsíců.
6	Malá	Na poruchu můžeme být upozorněni, můžeme ji odhalit sluchem – interval údržby delší jak 3 roky – komponent vyměňujeme.
7	Velmi malá	Na poruchu můžeme být upozorněni, můžeme ji odhalit sluchem – interval údržby delší jak 3 roky – komponent nevyměňujeme.
8	Slabá	Na poruchu můžeme být upozorněni, můžeme ji odhalit sluchem – interval údržby delší jak 10 let.
9	Téměř nemožná	Poruchu nejsme za provozu schopni odhalit, odhalíme ji při pravidelné kontrole (interval kontroly větší než 6 měsíců) – bezpečnostně významné komponenty.
10	Absolutně nemožná	Není žádná šance na odhalení poruchy.

6.2 Analýza FMEA – bovden nouzového odblokování dveří

Bovden má v systému nástupních dveří následující funkci:

Po otočení ovladače nouzového odblokování se pomocí bovdenů:

- sepne koncový spínač „dveře nouzově odjištěny“ – sepnutím tohoto spínače dostane řídicí jednotka informaci, že došlo k nouzovému odblokování,
- uvolní se přes odbrzdovací páku elektromagnetická pružinová brzda, čímž je umožněno ruční otevření dveří.

V zásadě mohou nastat následující poruchy:

- mechanická závada – např. prasknutí lanka
- uvolnění uchycení lanka
- ztížený pohyb lanka

Všechny tyto výše uvedené poruchy mohou vést ke ztrátě funkce nouzového odblokování. Ztráta nouzového odblokování má určitě vliv na bezpečnost, ovšem ne bezprostřední (viz vysvětlení uvedené při klasifikaci prvků pomocí RCM). Zároveň vznik této poruchy nemá vliv na provoz dveří. Z toho vyplývá, že odhalitelnost této poruchy je velmi obtížná až téměř nemožná bez jakékoliv kontroly, a to například pravidelné kontroly funkce. Klasifikace jednotlivých kritérií hodnotících významnost poruchy je provedena podle tabulek č. 7, 8, 9 uvedených v kapitole 6.1.

Tabulka č. 10 – Analýza FMEA pro bovden

Bovden (nouzové odblokování)

Funkce	Porucha	Důsledek	Si	Příčina	Oi	Opatření	Odhalitelnost	Di	RPNi
Při otočení ovladače nouzového odblokování dojde pomocí bovdenů k sepnutí koncového spínače "nouzové odblokování" a uvolnění pružinové brzdy	Poškození vlastního bovdenů nebo uvolnění uchycení	Nefunkční nouzové odblokování	7	Mechanická závada bovdenů (např. prasklý, uvolněné svěrky lanka)	2	Každých 6 měsíců kontrola všech funkcí dveří	Téměř nemožná - poruchu poznáme až v případě potřeby	9	126
				Uvolnění uchycení lanka bovdenů (např. uvolněno svěrné upevnění)	3	Každých 6 měsíců kontrola všech funkcí dveří	Téměř nemožná - poruchu poznáme až v případě potřeby	9	189
				Ztížený pohyb lanka bovdenů (např. příliš utažen stahovacími páskami)	2	Každých 6 měsíců kontrola všech funkcí dveří	Téměř nemožná - poruchu poznáme až v případě potřeby	9	126

Pozn.: Sepnutí koncového spínače „dveře nouzově odjištěny“ nemá na funkci nouzového odblokování žádný vliv. Dveře lze nouzově otevřít i v případě, když nedojde k sepnutí koncového spínače.

Výpočet RPN (pro nejvýznamnější poruchu):

Výpočet hodnoty významnosti rizika RPN provedeme pomocí vztahu (1):

$$RPN = Si \cdot Oi \cdot Di = 7 \cdot 3 \cdot 9 = \underline{\underline{189 [-]}}$$

Z výše uvedeného výpočtu vidíme, že pro bovden vyšla hodnota významnosti rizika $RPN = 189$. Pomocí koncepce ALARP (viz kapitola 2.1.4) vidíme, že porucha bovdeny spadá do třídy II, tedy nežádoucí riziko. Z toho vyplývá, že v údržbovém plánu musí být nějakým způsobem zahrnuta alespoň pravidelná kontrola bovdeny, popřípadě kontrola funkce nouzového odblokování, pomocí které bychom na závadu bovdeny přišli. V rámci dosažitelného snížení rizika pomocí dále navrhnutých údržbových zásahů, nedojde k velkému zvýšení nákladů na údržbu. Z toho vyplývá, že riziko poruchy bovdeny nemůžeme považovat za akceptovatelné.

6.3 Matice kritičnosti:

Významnost poruch jednotlivých komponentů lze také prezentovat v matici kritičnosti (závažnosti). Pro prezentaci významnosti poruch komponentů nástupních dveří jsem zvolil matici ve tvaru závislosti hodnoty RPN na závažnosti poruchy. Matice je dále rozdělena do tří polí, která jsou barevně odlišena. Do matice je u každého komponentu zanesena pouze porucha s největším RPN, tedy porucha nejzávažnější. Popis významu jednotlivých polí viz kapitola 2.1.5.

Je důležité opět zopakovat, že velikosti a hranice pro jednotlivá pole nejsou pevně stanoveny. Sestavování a tvar matice tedy závisí na samotném řešiteli, popřípadě na konkrétní oblasti použití. Zpravidla však platí, že pro poruchy spadající do tzv. červeného pole je snížení rizika nezbytně nutné a musíme se jimi bezpodmínečně zabývat.

7 Aplikace metody RCM na nástupní dveře metra

Kapitola aplikující principy metody RCM pro navrhnutí změn v dosavadním údržbovém plánu nástupních dveří metra.

7.1 Současný stav údržby nástupních dveří

V současné době se údržba nástupních dveří provádí podle údržbového plánu uvedeného v následující tabulce, tento plán můžeme nazvat jako **počáteční program údržby**.

Tabulka č. 11 – Aktuální plán údržby dveří metra [13]

Prováděná údržba	Interval
Kontrola polohy pojistného kroužku na vřetenové matici	3 měsíce
Kontrola funkcí	6 měsíců
Očištění a namazání dveřních těsnění	1 rok
Očištění a namazání opěrného válečku	1 rok
Kontrola laku	1 rok
Namazání uložení vřetena	3 roky
Očištění a namazání vřetena	3 roky
Očištění a namazání horní vodící kolejnice	3 roky
Namazání vodící tyče	3 roky
Kontrola vodících válečků na otočné páce	6 let
Výměna čidla dráhy dveří	6 let
Výměna dveřních těsnění	12 let
Nové naprogramování EPROM u ovládání dveří	12 let
Výměna koncového spínače „dveře nouzově odjištěny“	12 let
Výměna koncového spínače „dveře 100% zavřeny“	12 let
Výměna NOVRAM u ovládání dveří	12 let
Výměna energetického řetězu	12 let
Výměna hnacího motoru	15 let
Výměna ozubeného řemenu	15 let
Výměna dveřního tlačítka	15 let
Výměna zubové brzdy	15 let
Výměna bovdeny	15 let
Výměna vodících válečků na otočné páce	15 let
Výměna vodících válečků na nosníku dveřního křídla	15 let

7.2 Dekompozice nástupních dveří

Dekompozice zařízení se provede, pokud možno, až na úroveň součástí, případně vybereme tzv. „funkčně významné prvky“ (FSI). Na základě poskytnutých podkladů je

system nástupních dveří dekomponován do úrovně jednotlivých celků a u některých celků až do úrovně součástí. Dekompozice zařízení je uvedena v následující tabulce.

Tabulka č. 12 – Dekompozice prvků nástupních dveří

Číslo	Název prvku	Číslo	Název prvku
1	Otočná páka s válečky	14	Pojistný kroužek na vřetenové matici
2	Vodící válečky na otočné páce	15	Vodící tyč
3	Spodní vodící kolejnice	16	Hnací ss motor
4	Horní vodící kolejnice	17	Ozubný řemen
5	Nosník dveřního křídla	18	Čidlo dráhy dveří
6	Vodící váleček nosníku	19	Řídící jednotka
7	Kuličkové vedení nosníku	20	Spínač „dveře 100% zavřeny
8	Opěrný váleček	21	Spínač „odblokování dveří“
9	Dveřní těsnění	22	Zubová brzda
10	Bovden	23	Odbrzďující páka brzdy
11	Ovladač nouzového odblokování	24	Energetický řetěz
12	Vřeten	25	Dveřní tlačítko
13	Ložiska uložení vřetena	26	Servisní tlačítko
		27	Vypínač vyřazení dveří z provozu

7.3 Určení klasifikace prvků

Klasifikace funkčně významných celků je provedena pomocí algoritmu uvedeného v kapitole 1.3.3. Opět pro zpřehlednění řešení je v této kapitole provedena klasifikace pouze jednoho prvku, a to konkrétně bovdenou nouzového odblokování. Klasifikace pro některé dekomponované celky je uvedena v příloze B. Postup u ostatních celků by byl analogický jako u uvedených příkladů.

Formulář pro klasifikaci bovdeny je uveden v následující tabulce č. 13, pod tímto formulářem je dále slovně popsán důvod právě takové klasifikace.

Nakonec této podkapitoly je v tabulce č. 14 je provedeno shrnutí klasifikace všech dekomponovaných celků nástupních dveří metra.

Tabulka č. 13 – Formulář určený pro klasifikaci prvků

Číslo prvku	10
Název	Bovden
Popis funkce	Pomocí bovdeny dojde k sepnutí spínače "dveře nouzově odjištěny a odbrzdění pružinové brzdy

Předvídatelná porucha prvku:

a. ohrozí bezpečnost provozu případně bezpečnost cestujících nebo může dojít k ohrožení životního prostředí?

SSI

ANO – závada na bovdenu může způsobit ztrátu funkce nouzového odblokování

NE

b. způsobí neschopnost zařízení nebo může dojít k většímu prostoji v opravě?

MSI

ANO

NE

c. Nemá vliv na provozuschopnost, ale má za následek určité ekonomické ztráty?

ESI

ANO

NE

Prvek není funkčně významný.

Zdůvodnění klasifikace bovdeny jako prvku SSI:

Při vzniku nějaké z předvídatelných poruch sepsaných v analýze FMEA, může opravdu dojít ke ztrátě funkce nouzového odblokování dveří. V tomto případě je však nutné si uvědomit, že v případě potřeby může cestující použít i jiné dveře na voze. Ovšem při opravdu akutní situaci toto může vést ke ztrátě cenného času při úniku. Podle mého názoru tato porucha má vliv na bezpečnost, ovšem ne bezprostřední. Ale když už je zde zmiňováno slovo bezpečnost, tak byl bovden klasifikován jako prvek SSI. Významnost rizika je také zhodnocena v analýze FMEA.

Tabulka č. 14 - Klasifikace prvků

Číslo prvku	Název prvku	Klasifikace FSI
1	Otočná páka s válečky	MSI
2	Vodící válečky na otočné páce	ESI
3	Spodní vodící kolejnice	MSI
4	Horní vodící kolejnice	MSI
5	Nosník dveřního křídla	MSI
6	Vodící váleček na nosníku dveřního křídla	ESI
7	Kuličkové vedení nosníku dveřního křídla	MSI
8	Opěrný váleček	MSI
9	Dveřní těsnění	ESI
10	Bovden	SSI
11	Ovladač nouzového odblokování	SSI
12	Vřeteno	MSI
13	Ložiska uložení vřetena	MSI
14	Pojistný kroužek na vřetenové matici	SSI
15	Vodící tyč	MSI
16	Hnací ss motor	MSI
17	Ozubený řemen	MSI
18	Čidlo dráhy dveří	MSI
19	Řídící jednotka	SSI
20	Koncový spínač „dveře 100% zavřeny“	MSI
21	Koncový spínač „dveře nouzově odblokovány“	MSI
22	Zubová brzda	MSI
23	Odbrzďující páka zubové brzdy	SSI
24	Energetický řetěz včetně kabelu	MSI
25	Dveřní tlačítko	MSI
26	Servisní tlačítko	ESI
27	Vypínač vyřazení dveří z provozu	ESI

7.4 Určení prostředků údržby

Určení prostředků údržby metodou RCM se provede pomocí algoritmů uvedených v kapitole 1.3.3. Jedná se v podstatě o analýzu pomocí otázek s odpověďmi ANO/NE, kde výstupem jsou použitelné a efektivní prostředky údržby, které zabrání vzniku poruchy nebo alespoň zmírní její následky. [8] V následujících dvou tabulkách jsou uvedeny formuláře pro určení prostředků údržby, konkrétně pro bovden a čidlo dráhy dveří. Formuláře některých ostatních celků jsou uvedeny v příloze C. V tabulce č. 17 je poté provedeno shrnutí pro všechny FSI celky.

Prostředky údržby - mazání, čištění, ošetřování **a**

- provozní kontrola, vizuální kontrola **b**
- kontrola funkce, diagnostika prohlídka **c**
- obnova celku **d**
- vyřazení a výměna celku **e**

Tabulka č. 15 – Formulář určení prostředků údržby - bovden

Číslo prvku	10
Název	Bovden
Prvek	SSI

Zdali **a** zabrání vzniku opotřebení? - ne - bovden není nutné mazat nebo jinak ošetřovat

Je **b** použitelná ke zjištění degradace prvku? - **ano** – vizuální kontrola uchycení lanka, viditelné poškození

Je **c** použitelná ke zjištění degradace prvku? - **ano** – kontrola funkce nouzového odblokování může odhalit poruchu jak bovden, tak např. systému mechanického odbrzdění pružinové brzdy (odbrzdující páky)

Zdali se **d** podařilo snížit intenzitu poruch - ne - nelze

Zdali **e** pomůže zabránit vzniku 1. poruchy - **ano** – pravidelná výměna výrazně sníží riziko vzniku mechanické vady bovden (především lanka)

Tabulka č. 16 – Formulář určení prostředků údržby – čidlo dráhy dveří

Číslo prvku	18
Název	Čidlo dráhy dveří
Prvek	MSI

Zdali **a** zabrání vzniku opotřebení? - ne - neovlivní stav prvku

Je **b** použitelná ke zjištění degradace prvku? - **ano** - pomocí analyzování poruch z diagnostiky můžeme zjistit, že čidlo často vykazuje poruchu a je tedy vhodné jej vyměnit

Je **c** použitelná ke zjištění degradace prvku? - ne - není nutná, správnost fungování čidla kontroluje diagnostika

Zdali se **d** podařilo snížit intenzitu poruch - ne - nelze

Zdali **e** pomůže zabránit vzniku 1. poruchy - **ano** - pravidelná výměna sníží pravděpodobnost vzniku poruchy

Tabulka č. 17 – Doporučující údržbové zásahy pro jednotlivé celky

Název prvku	Kat. RCM	Úkoly údržby
Otočná páka s válečky	MSI	Vizuální kontrola – stavu a upevňovacích šroubů.
Vodící válečky na otočné páce	ESI	Vizuální kontrola opotřebení, nebo jestli nějaký z válečků nechybí – vadné vyměnit. V tomto případě vhodná pravidelná výměna
Spodní vodící kolejnice	MSI	Vizuální kontrola Kontrola seřízení
Horní vodící kolejnice	MSI	Mazání vodící kolejnice Kontrola seřízení
Nosník dveřního křídla	MSI	Údržba po poruše
Vodící váleček na nosníku dveřního křídla	ESI	Vizuální kontrola opotřebení – vadné vyměnit V tomto případě vhodná pravidelná výměna
Kuličkové vedení nosníku dveřního křídla	MSI	Mazání kuličkového vedení Vizuální kontrola
Opěrný váleček	MSI	Mazání opěrného válečku Vizuální kontrola Kontrola seřízení
Dveřní těsnění	ESI	Mazání dveřního těsnění Vizuální kontrola, v případě poškození výměna V tomto případě vhodná pravidelná výměna
Bovden	SSI	Vizuální kontrola Kontrola funkce Výměna bovdeny
Ovladač nouzového odblokování	SSI	Vizuální kontrola Kontrola funkce Výměna ovladače
Vřeteno	MSI	Mazání vřetena
Ložiska uložení vřetena	MSI	Mazání ložisek Vizuální kontrola stavu
Pojistný kroužek na vřetenové matici	SSI	Vizuální kontrola správné polohy Výměna pojistného kroužku
Vodící tyč	MSI	Údržba po poruše
Hnací ss motor	MSI	Kontrola funkce Výměna hnacího motoru
Ozubený řemen	MSI	Výměna ozubeného řemenu
Čidlo dráhy dveří	MSI	Analyzování výpisů z diagnostiky Výměna čidla dráhy dveří
Řídící jednotka	SSI	Analyzování výpisů z diagnostiky Nové naprogramování Výměna řídicí jednotky
Koncový spínač „dveře 100% zavřeny“	MSI	Kontrola seřízení Výměna spínače
Koncový spínač „dveře nouzově odblokovány“	MSI	Kontrola seřízení Výměna spínače
Zubová brzda	MSI	Kontrola výpisů z diagnostiky Výměna zubové brzdy
Odbrzďující páka zubové brzdy	SSI	Kontrola funkce Výměna zubové brzdy
Energetický řetěz vč. kabelu	MSI	Výměna řetězu včetně kabelu

Tabulka č. 17 – Údržbové zásahy pro jednotlivé celky – pokračování

Název prvku	Kat. RCM	Úkoly údržby
Dveřní tlačítko	MSI	Kontrola funkce, osvětlení tlačítka
		Výměna dveřního tlačítka
Servisní tlačítko	ESI	Kontrola funkce
Vypínač vyřazení z provozu	ESI	Kontrola funkce

7.5 Určení intervalů údržby

Intervaly preventivní údržby můžeme stanovit buď matematicky, kdy využíváme statistické metody zpracovávající data o poruchách zařízení, které poskytne provozovatel zařízení. Jestliže jsou data z provozu nedostatečná, v tom případě provedeme stanovení intervalů údržby na základě odhadu, kdy můžeme vycházet například z plánů údržby obdobných zařízení. Pokud jsou pro dané zařízení legislativně stanoveny pravidelné kontroly (například kontrola technického stavu, revize apod.), musejí být tyto také zahrnuty v údržbovém plánu v předepsaných intervalech. [8]

Z důvodu příliš nedostatečných dat o poruchách z provozu u většiny komponentů, je při návrhu intervalů primárně vycházeno z aktuálního programu údržby. Výjimku tvoří dveřní tlačítko, u něhož byla pomocí výpočtu stanovena tzv. doba do poruchy (výpočet uveden v příloze F). Na základě této vypočtené doby je v údržbovém plánu navržena kontrola funkce tlačítka při provádění provozního ošetření soupravy. Provozní ošetření se provádí po ujetí cca 9000 km, což podle průměrného ročního kilometrického proběhu odpovídá době asi 1,5 měsíce.

Na základě předchozích kroků je v následující tabulce (tabulka č. 18) uveden navržený údržbový plán, který můžeme nazývat jako **provozní plán údržby**. Navržené změny údržbových zásahů jsou vyznačeny červenou barvou. Hlavními změnami oproti původnímu plánu je zkrácení intervalu údržby u komponentů spojených s funkcí nouzového odblokování dveří, a také zavedení, jak je uvedeno výše, kontroly fungování dveřního tlačítka v rámci provozního ošetření.

Tabulka č. 18 – Navrhnutý údržbový plán

Prováděná údržba	Interval
Kontrola funkce dveřního tlačítka	Provozní ošetření (po 9000 km)
Kontrola polohy pojistného kroužku na vřetenové matici	3 měsíce
Kontrola nouzového odblokování včetně vizuální kontroly bovdeny a otočného ovladače nouzového odblokování	3 měsíce
Kontrola seřízení koncových spínačů „dveře 100% zavřeny“ a „dveře nouzově odblokovány“	6 měsíců
Kontrola všech funkcí dveří	6 měsíců
Vizuální kontrola stavu otočné páky, spodní vodící kolejnice, opěrného válečku	6 měsíců
Očištění a namazání dveřních těsnění, zároveň vizuální kontrola	1 rok
Očištění a namazání opěrného válečku, kontrola seřízení	1 rok
Kontrola laku	1 rok
Namazání uložení vřetena, zároveň vizuální kontrola ložisek	3 roky
Očištění a namazání vřetena	3 roky
Očištění a namazání horní vodící kolejnice, zároveň vizuální kontrola vodícího válečku nosníku dveřního křídla	3 roky
Kontrola seřízení horní a spodní vodící kolejnice	3 roky
Namazání kuličkového vedení nosníku, zároveň vizuální kontrola	3 roky
Kontrola vodících válečků na otočné páce	6 let
Výměna čidla dráhy dveří	6 let
Výměna dveřních těsnění	12 let
Nové naprogramování EPROM u ovládání dveří	12 let
Výměna koncového spínače „dveře nouzově odjištěny“	12 let
Výměna koncového spínače „dveře 100% zavřeny“	12 let
Výměna NOVRAM u ovládání dveří	12 let
Výměna energetického řetězu	12 let
Výměna hnacího motoru	15 let
Výměna ozubeného řemenu	15 let
Výměna dveřního tlačítka	15 let
Výměna zubové brzdy	15 let
Výměna bovdeny	15 let
Výměna vodících válečků na otočné páce	15 let
Výměna vodících válečků na nosníku dveřního křídla	15 let

8 Opakovaná analýza FMEA

Po provedení příslušných opatření, v tomto případě zavedení údržbového zásahu nebo zkrácení intervalu u již prováděného údržbového zásahu, musí dojít zákonitě ke snížení četnosti výskytu dané poruchy a samozřejmě také k určitému zlepšení odhalitelnosti poruchy.

Na základě navrhnutých změn v údržbě nástupních dveří je v této kapitole zhodnoceno, jak moc jsou tato opatření účinná. U komponentů s nově navrhnutými

opatřeními údržby, by mělo, pomocí opakované analýzy FMEA, dojít se snížení hodnoty RPN, tedy k určité redukci rizika vzniku poruchy.

Formou opakované analýzy FMEA je ověřeno, jestli u funkčně a bezpečnostně významných komponentů došlo, po přijetí uvedených údržbových opatření, ke snížení rizika vzniku poruchy na všeobecně přijatelnou úroveň. Tyto významné komponenty byly určeny na základě původní analýzy FMEA. Jedná se především o bovden, ovladač nouzového odblokování, odbrzdňující páku zubové brzdy a otevírací tlačítko na dveřních křídlech. Na základě provedených opatření, u těchto komponentů, dojde především ke zlepšení odhalitelnosti poruchy. V této kapitole je uveden příklad opakované analýzy FMEA pouze pro bovden. Opakovaná analýza pro všechny uvedené prvky je uvedena v příloze E.

Tabulka č. 19 – Opakovaná analýza FMEA pro bovden

Bovden (nouzové odblokování)

Funkce	Porucha	Důsledek	Si	Příčina	Oi	Opatření	Odhalitelnost	Di	RPNi
Při otočení ovladače nouzového odblokování dojde pomocí bovdeny k sepnutí koncového spínače "nouzové odblokování" a uvolnění pružinové brzdy	Poškození vlastního bovdeny nebo uvolnění uchycení	Nefunkční nouzové odblokování	7	Mechanická závada bovdeny (např. prasklý, uvolněné svěrky lanka)	2	Každé 3 měsíce vizuální kontrola a kontrola nouzového odblokování	Za provozu nemožná, poznáme v případě potřeby nebo při údržbě – zkrácený interval údržby	4	56
				Uvolnění uchycení lanka bovdeny (např. uvolněno svěrné upevnění)	2	Každé 3 měsíce vizuální kontrola a kontrola nouzového odblokování	Za provozu nemožná, poznáme v případě potřeby nebo při údržbě – zkrácený interval údržby	4	56
				Ztížený pohyb lanka bovdeny (např. příliš utažen stahovacími páskami)	1	Každé 3 měsíce vizuální kontrola a kontrola nouzového odblokování	Za provozu nemožná, poznáme v případě potřeby nebo při údržbě – zkrácený interval údržby	6	42

Výpočet RPN (pro nejvýznamnější poruchu):

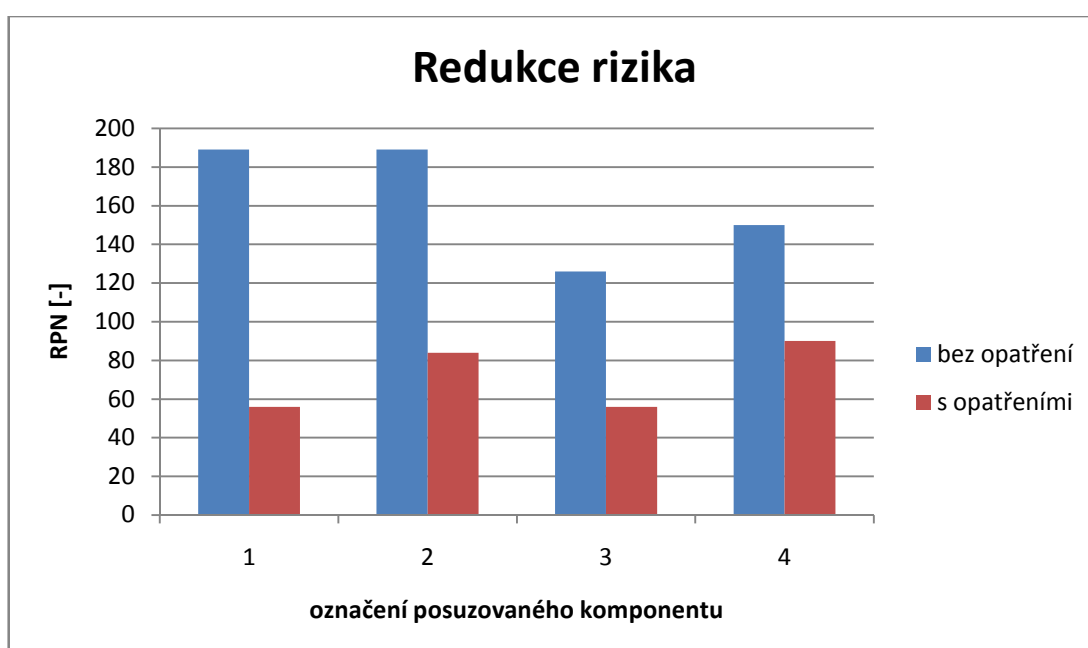
$$RPN = Si \cdot Oi \cdot Di = 7 \cdot 2 \cdot 4 = \underline{\underline{56 [-]}}$$

Před provedením opatření hodnota RPN = 189, nyní RPN = 56 => redukce rizika 70%. Hlavním důvodem redukce rizika bylo zkrácení intervalu kontroly jak vlastního bovdeny, tak funkce nouzového odblokování. Tedy zlepšení především odhalitelnosti vzniklé poruchy.

Po provedení opatření se podařilo zredukovat riziko poruchy i u ovladače nouzového odblokování, odbrzdující páky zubové brzdy a otvíracího tlačítka na dveřních křídlech. V následující tabulce je uvedeno posouzení redukce rizika u uvedených komponentů.

Tabulka č. 20 – Posouzení redukce rizika

RPN bez opatření [-]	Komponent	RPN s opatřeními [-]	Redukce rizika [%]
189	Bovden	56	70
189	Ovladač nouzového odblokování	84	55
126	Odbrzďující páka zubové brzdy	56	56
150	Otvírací tlačítko	90	40



1...bovden

2...ovladač nouzového odblokování

3...odbrzdující páka zubové brzdy

4...otvírací tlačítko na dveřních křídlech

Obr. 18 – Posouzení redukce rizika

9 Hodnocení provozní spolehlivosti

V této kapitole je provedeno hodnocení provozní spolehlivosti nástupních dveří pomocí zkušebních plánů. Nejdříve je zhodnocena provozní spolehlivost mechanických komponentů a elektroniky, následně jsou zhodnoceny dveře jako celek.

9.1 Odhad počtu cyklů dveří za rok provozu

Nejdříve je nutné si upřesnit, co budeme pokládat za cyklus dveří.

Cyklus dveří = otevření + zavření dveří.

Postup výpočtu:

Průměrný kilometrický proběh jedné soupravy za rok činí 86000 km.

$$L_r = 86000 \text{ km/rok} \Rightarrow L_D = 236 \text{ km/den}$$

Soupravy metra M1 zajišťují dopravu na trase C:

Trasa C Celková délka $L = 22,4 \text{ km}$.

Počet zastávek $N = 20$. [3]

Pro stanovení kolikrát denně absolvuje jedna souprava tuto trasu, použijeme jednoduchý vztah:

$$N_{jD} = \frac{L_D}{L} [-] \tag{6}$$

$$N_{jD} = \frac{236}{22,4} \doteq \underline{\underline{11}}$$

V průměru tedy každá souprava projede denně tuto trasu celkem **11**.

Stanovení počtu stanic, ve kterých jedna souprava denně zastaví:

$$N_{zS} = N \cdot N_{jD} [-] \tag{7}$$

$$N_{zS} = 20 \cdot 11 = \underline{\underline{220}}$$

Každá souprava denně zastaví ve **220** stanicích, ve kterých můžeme očekávat otevření dveří.

Dále je potřeba odhadnout kolikrát dojde k otevření jedné dveří. Pro výpočet počtu cyklů (otevření a následné zavření) odhaduji, že jedny dveře na soupravě budou **otevřeny v každé třetí stanici**.

Je zřejmé, že při zastavení ve stanici nedojde k otevření všech dveří na voze, ale otevření dveří na příslušné straně podle polohy nástupiště (některé stanice jsou řešeny s nástupištěm uprostřed a kolejemi po stranách, některé jsou řešeny s kolejemi uprostřed a nástupištěm po stranách). To znamená, že pokud by se v každé stanici otevřely všechny dveře na příslušné straně vozidla, došlo by za den k maximálně 110 otevřením dveří (tedy v každé druhé stanici v rámci našeho výpočtu). Po odhadnutí určitých nepravidelností jsem tedy určil, že k otevření dveří dojde v každé třetí stanici.

Tedy počet cyklů dveří za den:

$$P_{od} = \frac{N_{zs}}{3} [-] \quad (8)$$

$$P_{od} = \frac{220}{3} = \underline{\underline{74}}$$

přepočítáme na počet cyklů za rok:

$$P_{or} = P_{od} \cdot 365 = 74 \cdot 365 = \underline{\underline{27\,010}}$$

Když ještě jeden cyklus rozdělíme zvlášť na otevření a zavření dostaneme, že za rok dojde celkem k cca **54 020 pohybům dveří**.

Tímto výpočet jsem chtěl ukázat, jak velkému provoznímu zatížení jsou vystaveny nástupní dveře. Na základě odhadnutého počtu cyklů je zřejmě jasné, jak velké nároky musí být kladeny na spolehlivost dveří, a to především z toho důvodu, že při určitých poruchách dveří nesmí být souprava metra dále provozována a je ihned stažena na opravu. To znamená, že porucha jedné dveří způsobí neschopnost celé soupravy metra. I z tohoto je vidět jakou významnou roli hrají nástupní dveře v celém systému vozidel metra.

9.2 Použití zkušebních plánů

Pro hodnocení provozní spolehlivosti nástupních dveří je vhodné použít tzv. t – plány. Doba zkoušky je tedy ohraničena dobou, po kterou sledujeme poruchovost. Pokud dojde k vážnější poruše nástupních dveří metra, tyto dveře se uvedou mimo provoz a souprava je stažena do depa, kde se porucha po nějakou dobu opravuje. Poté může být souprava opět nasazena do provozu.

Zkouška byla provedena tak, že po dobu jednoho roku byla sledována poruchovost na celkem 1920 nástupních dveří.

Takovýto výše uvedený plán bude zapsán: **[n , M , t]**.

Kde:

n ...celkový počet dveří, na kterých je sledována poruchovost

$$\underline{n = 1920}$$

M ...výrobek se poruše opravuje a poté je opět nasazen do provozu

t ...zkouška ohraničena dobou trvání

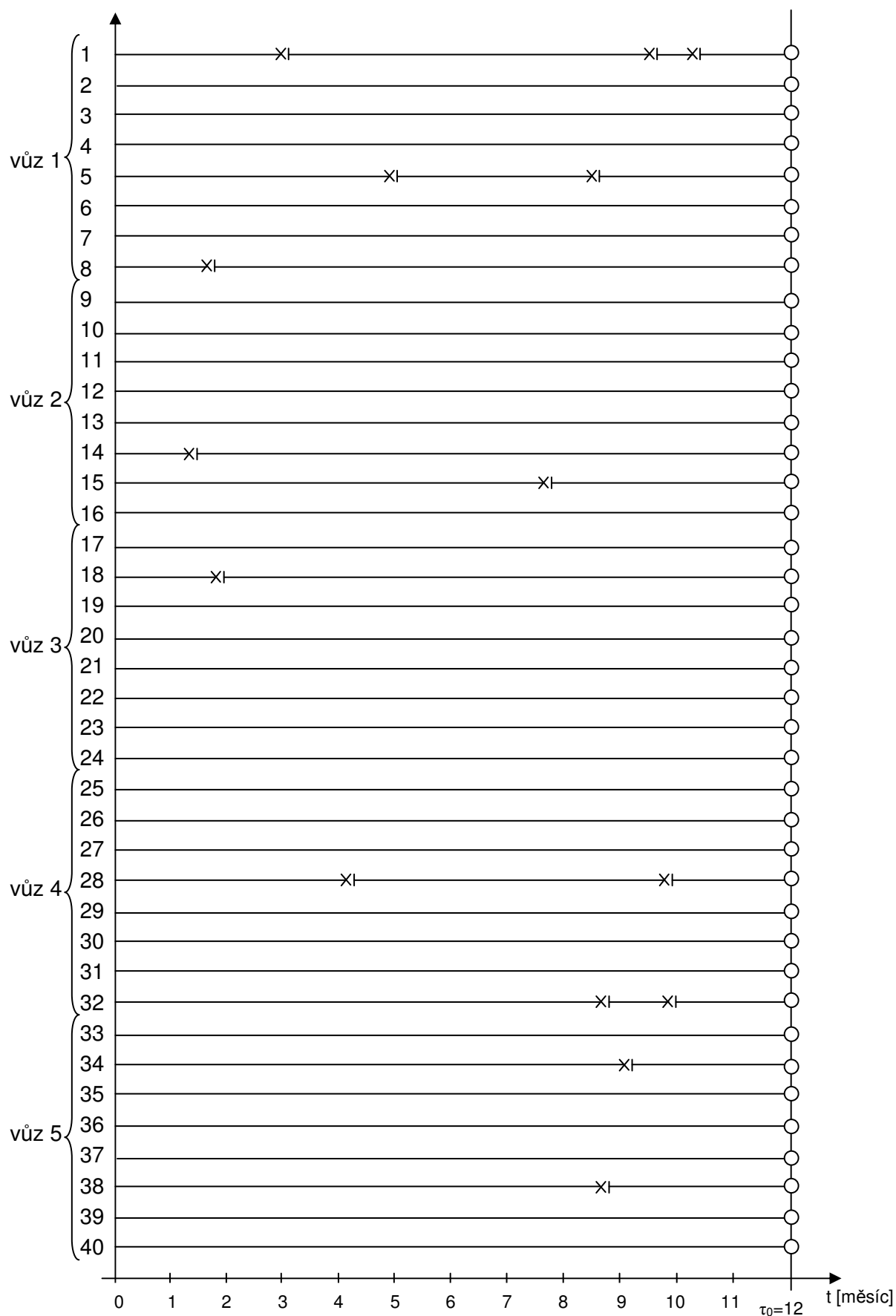
$$\underline{\tau_0 = 365 \text{ dní}}$$

$$\mathbf{[n = 1920, M, \tau_0 = 365 \text{ dní}]}$$

Na následujícím obrázku je uveden ukázkový příklad způsobu grafického znázornění zkušebního plánu. Pro tento příklad posloužily nástupní dveře vlaku č. 14. V tomto grafickém znázornění jsou vyznačeny všechny poruchy, které se během sledovaného období na dveřích této soupravy vyskytly. Už z tohoto příkladu je patrné, že u většiny dveří k žádné poruše nedošlo. Tento trend byl stejný u všech souprav, takže už teď předem můžeme očekávat, že spolehlivost nástupních dveří bude vysoká.

Takto vytvořený zkušební plán bychom mohli použít k hodnocení provozní spolehlivosti nástupních dveří jako celku. Kdybychom ovšem chtěli hodnotit spolehlivost jednotlivých konstrukčních skupin, aplikovali bychom stejný postup s tím rozdílem, že vyznačené poruchy by představovaly pouze poruchy oněch zkoumaných konstrukčních skupin. Mohlo by se jednat například o poruchy elektroniky.

Z hlediska velkého množství souprav je v této kapitole uvedeno grafické znázornění pouze jednoho zkušebního plánu. Postup konstrukce plánu u dalších souprav by byl analogický.



Obr. 19 – Grafické znázornění zkušebního plánu (vlak č. 14)

9.2.1 Hodnocení provozní spolehlivosti vybraných konstrukčních skupin

9.2.1.1 Mechanické komponenty nástupních dveří

Pro zhodnocení provozní spolehlivosti mechanických komponentů systému nástupních dveří byl použit zkušební plán $[n, M, t]$

$$[n = 1920, M, \tau_0 = 365 \text{ dní} = 8760 \text{ h}]$$

Během sledovaného období došlo k 70 poruchám dveří, které byly způsobeny mechanickými komponenty.

$$r = 70$$

Na základě poskytnutých dat z provozu jsem stanovil, že průměrná doba opravy v případě poruchy mechanického komponentu činí 2 hodiny.

$$T_0 = 2 \text{ h}$$

Jako první je nutné vypočítat **akumulovaný pracovní čas T_{AKU}** , tzn. čas, po který byly všechny dveře v provozu. Vztah pro výpočet T_{AKU} závisí na zvoleném typu zkušebního plánu. V případě plánu $[n, M, t]$ použijeme vztah (3):

$$T_{AKU} = r \cdot (\tau_0 - \sum_{i=1}^r O_i) + (n - r) \cdot \tau_0 [h]$$

po dosazení:

$$T_{AKU} = 70 \cdot [8760 - (2 \cdot 70)] + (1920 - 70) \cdot 8760 = \underline{\underline{16\,799\,600 \text{ h}}}$$

Pro vyhodnocení provozní spolehlivosti nám poslouží stanovení **dolního odhadu střední doby do poruchy T_{SD}** . Vztah pro výpočet tohoto odhadu závisí na druhu rozdělení pravděpodobnosti daného celku nebo skupiny. U mechanických komponentů bylo předpokládáno, že doby do poruchy mechanických komponentů se budou řídit Weibullovým rozdělením. Toto tvrzení bylo pomocí χ^2 testu dobré shody potvrzeno jako správné (viz příloha H). Z tohoto důvodu musíme pro výpočet dolního odhadu střední doby do poruchy použít vztah (5).

$$T_{SD}^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2 \cdot (r+1); c}^2} [h]$$

po úpravě a dosazení:

$$T_{SD} \geq \sqrt[1,517]{\frac{2 \cdot 16\,799\,600^{1,517}}{\chi_{2 \cdot (70+1); 0,9}^2}} = \sqrt[1,517]{\frac{2 \cdot 16\,799\,600^{1,517}}{163,98}} = \underline{\underline{919\,993\,h}}$$

Výpočet hodnoty chí-kvadrát rozdělení byl proveden pomocí programu Excel, konkrétně:

$$\chi_{142; 0,9}^2 = \text{CHIINV}(0,1; 142) = \underline{\underline{163,98}}$$

Parametr tvaru Weibullova rozdělení byl stanoven bodovým odhadem metodou lineární regrese (viz příloha G): **m = 1,517**

9.2.1.2 Elektronické komponenty nástupních dveří

Pro zhodnocení provozní spolehlivosti elektronických komponentů byl použit zkušební plán **[n, M, t]**

$$[n = 1920, M, \tau_0 = 365 \text{ dní} = 8760 \text{ h}]$$

Během sledovaného období došlo na elektronice celkem k 158 poruchám.

$$\underline{r = 158}$$

Na základě poskytnutých dat z provozu jsem stanovil, že průměrná doba opravy v případě poruchy elektroniky činí 2 hodiny.

$$\underline{T_0 = 2 \text{ h}}$$

Jako první stanovíme **akumulovaný pracovní čas T_{AKU}** . V případě plánu [n, M, t] použijeme vztah (3):

$$T_{AKU} = r \cdot (\tau_0 - \sum_{i=1}^r O_i) + (n - r) \cdot \tau_0 [h]$$

po dosazení:

$$T_{AKU} = 158 \cdot [8760 - (2 \cdot 158)] + (1920 - 158) \cdot 8760 = \underline{\underline{16\,769\,272\,h}}$$

Pro vyhodnocení provozní spolehlivosti opět stanovíme **dolní odhad střední doby do poruchy T_{SD}** . Na základě χ^2 testu dobré shody (viz příloha H) bylo zjištěno, že doby do poruchy elektroniky nejlépe vystihuje Weibullovo rozdělení. Proto pro výpočet T_{SD} je nutné použít vztah (5).

$$T_{SD}^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2 \cdot (r+1); c}^2} [h]$$

po úpravě a dosazení:

$$T_{SD} \geq \sqrt[1,29]{\frac{2 \cdot 16\,769\,272^{1,29}}{\chi_{2 \cdot (158+1); 0,9}^2}} = \sqrt[1,29]{\frac{2 \cdot 16\,769\,272^{1,29}}{350,7}} = \underline{\underline{305\,528\,h}}$$

Výpočet hodnoty chí-kvadrát rozdělení byl proveden pomocí programu Excel, konkrétně:

$$\chi_{318; 0,9}^2 = \text{CHIINV}(0,1; 318) = \underline{\underline{350,7}}$$

Parametr tvaru Weibullova rozdělení byl opět stanoven jako bodový odhad pomocí metody lineární regrese (viz příloha G): **$m = 1,29$**

9.2.1.3 Nástupní dveře (celek)

Jako poslední krok hodnocení provozní spolehlivosti nástupních dveří jsou posuzovány dveře jako celek (mechanické komponenty + elektronika). Pro zhodnocení byl opět použit zkušební plán

$$[n, M, t]$$

$$[n = 1920, M, \tau_0 = 365 \text{ dní} = 8760 \text{ h}]$$

Během sledovaného období došlo k výskytu celkem 228 poruch.

$$\underline{r = 228}$$

Průměrná doba opravy činí 2 hodiny. Hodnota opět stanovena na základě poskytnutých dat.

$$\underline{T_0 = 2 \text{ h}}$$

Akumulovaný pracovní čas T_{AKU} :

Typ zkušebního plánu [n, M, t] => použijeme vztah (3):

$$T_{AKU} = r \cdot (\tau_0 - \sum_{i=1}^r O_i) + (n - r) \cdot \tau_0 [h]$$

po dosazení:

$$T_{AKU} = 228 \cdot [8760 - (2 \cdot 228)] + (1920 - 228) \cdot 8760 = \underline{\underline{16\,715\,232\,h}}$$

Stanovení dolního odhadu střední doby do poruchy T_{SD} :

Mechanické komponenty a elektronika – Weibullovo rozdělení => použijeme i pro kompletní systém nástupních dveří. Výpočet T_{SD} proveden dle vztahu (5).

$$T_{SD}^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2 \cdot (r+1);c}^2} [h]$$

po úpravě a dosazení:

$$T_{SD} \geq \sqrt[1,352]{\frac{2 \cdot 16\,715\,232^{1,352}}{\chi_{2 \cdot (228+1);0,9}^2}} = \sqrt[1,352]{\frac{2 \cdot 16\,715\,232^{1,352}}{497,2}} = \underline{\underline{282\,678\,h}}$$

Výpočet hodnoty chí-kvadrát rozdělení byl proveden pomocí programu Excel, konkrétně:

$$\chi_{458;0,9}^2 = \text{CHIINV}(0,1;458) = \underline{\underline{497,2}}$$

Parametr tvaru Weibullova rozdělení $m = 1,352$ – metoda lineární regrese (viz příloha G).

Vyhodnocení provozní spolehlivosti:

Z výsledků hodnocení provozní spolehlivosti pomocí zkušebních plánů, se potvrdil předpoklad o vysoké spolehlivosti nástupních dveří. Hodnota odhadu střední doby do poruchy pro nástupní dveře činí 282 678 hodin. Ovšem je důležité říci, že nástupní dveře by nevykazovaly takovou úroveň spolehlivosti bez provádění pravidelné preventivní údržby. Na základě dosažených výsledků můžeme tvrdit, že už dosavadní údržbový plán je, co se týče dosahování vysoké úrovně spolehlivosti, velmi efektivní.

10 Závěr

Touto diplomovou prací jsem se snažil ukázat, jak důležitou roli hrají nástupní dveře v celém systému soupravy metra. Jsou na ně kladeny především vysoké požadavky na spolehlivost provozu. Provozní spolehlivost dveří byla ověřována na konci práce, a z dosažených a uvedených výsledků se opravdu potvrdilo, že tento požadavek vysoké spolehlivosti dveře skutečně splňují. Ovšem zde je nutné si uvědomit, že vypočtená hodnota spolehlivosti platí pouze pro jedny dveře. Těchto dveří je na soupravě celkem 40, a v rámci hodnocení spolehlivosti si tento případ můžeme představit jako sériovou soustavu, protože při poruše jen jedné dveří dojde k neprovozuschopnosti celé soupravy, což je právě vlastnost sériové soustavy. Jak je dále známo, bezporuchovost sériové soustavy s rostoucím počtem prvků klesá.

Co se týče návrhu údržby, už před započítáním práce jsem si stanovil, že se především zaměřím na komponenty dveří, které mají co dočinění s bezpečností. V rámci dosažení tohoto cíle byla nejdříve provedena analýza FMEA celého systému nástupních dveří. V této analýze jsem se už nezabýval prvky ovládání dveří, které jsou umístěny na stanovišti strojvedoucího, a které jsou společné pro všechny dveře na soupravě, s výjimkou bezpečnostního relé nulové rychlosti. V rámci analýzy FMEA byly jako nejvýznamnější komponenty z hlediska bezpečnosti určeny bovden, ovladač nouzového odblokování, zubová brzda, a to především systém mechanického odbrzdění (odbrzdňující páka). Všechny tyto uvedené komponenty mají na starost funkci nouzového odblokování dveří. Nouzové odblokování dveří je jedna z bezpečnostních funkcí. Samozřejmě přímo s touto funkcí dále souvisí například vřeten, vodící tyč a ostatní prvky s těmito spojené. Ovšem na rozdíl od výše uvedených prvků, můžeme u nich poruchu snadno identifikovat v provozu a pravděpodobnost, že k poruše dojde přesně ve chvíli, když potřebujeme dveře nouzově otevřít je velmi malá. U prvků jako je například bovden poruchu nemůžeme nijak zachytit během provozu, dveře fungují normálně i s touto poruchou. Z tohoto důvodu je závažnost poruchy u těchto komponentů poněkud vyšší. U těchto komponentů jsem tedy především zkrátil interval údržby. V mém návrhu je navíc zavedena vizuální kontrola uchycení lanka, a také kontrola funkce nouzového odblokování. To všechno se provádí jednou za 3 měsíce, čímž došlo ke zkrácení intervalu kontroly na polovinu. Tato změna pomohla především ke zlepšení identifikace případné poruchy a tím k určitému zvýšení bezpečnosti zařízení.

Další bezpečnostní funkce je ochrana proti sevření dveřmi. V rámci analýzy FMEA jsem zjistil, že případná ztráta této funkce, tedy sevření cestujícího dveřmi, je možná buď

při chybě funkce řídící jednotky, nebo při současné poruše čidla dráhy dveří a koncového spínače „dveře 100% zavřeny“. V případě chyby řídící jednotky by to znamenalo, že bude docházet k chybnému porovnávání proudu hnacího motoru s tzv. mezní křivkou. Tato porucha je zcela neidentifikovatelná, ovšem s přihlédnutím na zkušenosti z provozu také velmi nepravděpodobná, ovšem ne nemožná! V rámci práce nebylo za cíl změnit konstrukci dveří, ale podle mého názoru by bylo vhodné paralelně k funkci porovnávání proudu motoru doplnit ještě tzv. tlakovou lištu. Jedná se v podstatě o tlakové snímače umístěné ve svislém pryžovém těsnění mezi dveřními křídly. Tímto bychom měli v podstatě tuto funkci zálohovanou dvakrát a pravděpodobnost, že dojde ke ztrátě, by byla téměř nulová. Takové konstrukce dnes už existují a jsou využívány u dveřních systémů mnoha kolejových vozidel.

Další důležité zjištění byla vysoká poruchovost ovládacího tlačítka na dveřních křídlech. Při poruše tlačítka v podstatě nemáme jakoukoliv možnost na poruchu přijít až do doby provádění údržby. To znamená, že v případě poruchy tlačítka budou dveře mimo provoz do té doby, než na nich neprovedeme údržbu, popřípadě na poruchu nebudeme například upozorněni. Z tohoto důvodu byla do upraveného údržbového plánu zahrnuta i pouhá kontrola funkce dveřního tlačítka, a to při každém provozním ošetření. Tímto opatřením zřejmě snížíme intenzitu poruch, ovšem výrazně zlepšíme identifikaci poruch. To znamená, že nám nebude dlouho jezdit v provozu souprava, u které nejdou otevírat některé dveře.

Jak už z předchozích odstavců vyplývá, do údržbového plánu jsem zanesl pouze údržbové zásahy formou pouze vizuální kontroly nebo kontroly funkce. Tato opatření výrazně zvýší možnost identifikace poruchy u prvků, u kterých bychom za běžného provozu na poruchu nebyly schopni přijít. Zavedené změny samozřejmě zvýší pracnost údržby, ovšem na druhou stranu nedojde k přílišnému zvýšení nákladů na údržbu.

11 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. 2007.
- [2] ČSN EN 61508. *Funkční bezpečnost elektrických / elektronických / programovatelných systémů souvisejících s bezpečností*. 2002.
- [3] Dopravní podnik hlavního města Prahy. [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <www.dpp.cz>
- [4] FAMFULÍK, Jan – KRZYŽANEK, Radek – MÍKOVÁ, Jana. Analýza spolehlivosti v etapě návrhu a vývoje vozidla. *Teorie údržby* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2007, 25 s [cit. 2012-01-13]. Dostupné z: <<http://homel.vsb.cz/~krz011/>>
- [5] FAMFULÍK, Jan – KRZYŽANEK, Radek – MÍKOVÁ, Jana. Opořebenění strojních soustav a vznik poruch. *Teorie údržby* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2007, 14 s [cit. 2011-12-14]. Dostupné z: <<http://homel.vsb.cz/~krz011/>>
- [6] FAMFULÍK, Jan - MÍKOVÁ, Jana. Příspěvek k analýze rizika modulu automatického vedení vlaku. *Perner's Contacts* [online]. Listopad 2009 [cit. 2.ledna 2010]. Dostupný na WWW: <http://pernerscontacts.upce.cz/15_2009/Famfulik2.pdf>. ISSN 1801-674X.
- [7] FAMFULÍK, Jan – KRZYŽANEK, Radek – MÍKOVÁ, Jana. Spolehlivost a životní cyklus vozidel. *Teorie údržby* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2007, 16 s [cit. 2011-12-15]. Dostupné z: <<http://homel.vsb.cz/~krz011/>>
- [8] FAMFULÍK, Jan – KRZYŽANEK, Radek – MÍKOVÁ, Jana. Systémy údržby. *Teorie údržby* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2007, 44 s [cit. 2012-01-25]. Dostupné z: <<http://homel.vsb.cz/~krz011/>>
- [9] FAMFULÍK, Jan – KRZYŽANEK, Radek – GALVAS, Peter. *Zkoušky spolehlivosti - vybrané stochastické metody* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2009, 69 s [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: <<http://vyuka.fs.vsb.cz/mod/resource/view.php?id=5404>>

- [10] FUCHS, Pavel – VALIŠ, David. *Metody analýzy a řízení rizika* [online]. Liberec, 2009, 35 s [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://risk.rss.tul.cz/vyuka/vyucovane-predmety/hri-hodnoceni-rizik-1/materialy-ke-stazeni/Analiza_rizeni_rizika_skriptum.pdf/view>
- [11] IFE. *Sliding Plug Doors* [online]. [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://www.ife-doors.com/media/documents/prospekte/en/sliding_pl_MT.pdf>
- [12] SIEMENS. *Návod na montáž a seřízení pro dvoukřídlé předsuvné dveře RLS určené pro „Metro Praha“*. 2009. 26 s.
- [13] SIEMENS. *Návod na uvedení do provozu pro dvoukřídlé předsuvné dveře RLS určené pro „Metro Praha“*. 2001. 10 s.
- [14] SIEMENS. *Plán údržby pro dvoukřídlé předsuvné dveře RLS určené pro „Metro Praha“*. 2008. 10 s.
- [15] SIEMENS. *Popis funkce pro dvoukřídlé předsuvné dveře RLS určené pro „Metro Praha“*. 2003. 19 s.

12 Seznam tabulek a obrázků

	strana
Obr. 1 – Závislost pravděpodobnosti poruchy na rychlosti opotřebení	12
Obr. 2 – Průběh poruch (1 – postupné, 2 – náhlé, 3 – kombinované)	13
Obr. 3 – Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí	14
Obr. 4 – Počáteční a provozní program údržby	15
Obr. 5 – Algoritmus kategorizace FSI	17
Obr. 6 – Algoritmus určení prostředků údržby pro celky SSI	18
Obr. 7 – Algoritmus určení prostředků údržby pro celky MSI	19
Obr. 8 – Algoritmus určení prostředků údržby pro celky ESI	19
Obr. 9 – Model ALARP	25
Obr. 10 – Matice závažnosti	27
Obr. 11 – Příklad stromu poruch	28
Obr. 12 – Grafické znázornění zkušebního plánu (t-plán)	30
Obr. 13 – Dvoukřídlé předsvuné dveře	32
Obr. 14 – Pohon dveří	32
Obr. 15 – Vstupní a výstupní signály	33
Obr. 16 – Strom poruch pro ztrátu funkce nouzového odblokování	37
Obr. 17 – Matice kritičnosti pro nástupní dveře	42
Obr. 18 – Posouzení redukce rizika	52
Obr. 19 – Grafické znázornění zkušebního plánu (vlak č. 14)	56
 Tabulka č. 1 – Klasifikace závažnosti poruchy	 23
Tabulka č. 2 – Klasifikace četnosti výskytu poruchy	24
Tabulka č. 3 – Klasifikace odhalitelnosti poruchy	24
Tabulka č. 4 – Význam jednotlivých tříd rizika dle normy ČSN EN 61508	26
Tabulka č. 5 – Ukázkový příklad klasifikace rizika dle normy ČSN EN 61508	26
Tabulka č. 6 – Technická data a data systému	33
Tabulka č. 7 – Kritéria určení stupně závažnosti poruchy pro analýzu FMEA	38
Tabulka č. 8 – Kritéria určení stupně četnosti poruchy pro analýzu FMEA	39
Tabulka č. 9 – Kritéria určení stupně odhalitelnosti poruchy pro analýzu FMEA	39
Tabulka č. 10 – Analýza FMEA pro bovden	40
Tabulka č. 11 – Aktuální plán údržby dveří metra	43
Tabulka č. 12 – Dekompozice prvků nástupních dveří	44
Tabulka č. 13 – Formulář určený pro klasifikaci prvků	45
Tabulka č. 14 – Klasifikace prvků	46
Tabulka č. 15 – Formulář určení prostředků údržby – bovden	47

Tabulka č. 16 – Formulář určení prostředků údržby – čidlo dráhy dveří	47
Tabulka č. 17 – Doporučující údržbové zásahy pro jednotlivé celky	48
Tabulka č. 18 – Navrhnutý údržbový plán	50
Tabulka č. 19 – Opakovaná analýza FMEA pro bovden	51
Tabulka č. 20 – Posouzení redukce rizika	52

13 Seznam příloh

	strana
Příloha A – Stromy poruch pro jednotlivé funkce dveří	67
Příloha B – Klasifikace prvků pomocí RCM analýzy	75
Příloha C – Určení prostředků údržby	78
Příloha D – Analýza FMEA nástupních dveří metra	79
Příloha E – Opakovaná analýza FMEA	91
Příloha F – Stanovení doby do poruchy pro ovládací tlačítko	93
Příloha G – Odhad parametrů Weibullova rozdělení metodou lineární regrese	96
Příloha H – χ^2 test dobré shody	100